

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL ARBOLADO PÚBLICO SOBRE PATRONES DE CONFORT TÉRMICO EN ZONAS URBANAS DE LA CIUDAD DE SEVILLA

Trabajo Fin de Grado, Grupo Ñ
Autor: José Manuel Gutiérrez Liñán
Tutor: Carlos Alberto Rivera Gómez

ETSA Sevilla
Grado en Fundamentos de Arquitectura
Curso 2020-21



Agradecimientos

Quiero mostrar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que de alguna manera han contribuido en mi proceso de aprendizaje dentro de la Escuela.

En primer lugar a todo el equipo docente que me ha transmitido los conocimientos y ha hecho posible que adquiera la capacidad, y la sensibilidad necesaria para formarme en esta profesión, pero de manera especial agradecerle a mi tutor de TFG, Carlos A. Rivera Gómez, por su cercanía, comprensión, colaboración y disponibilidad siempre que ha sido necesario, estando disponible a través de cualquier medio y sin horarios. También agradecer a Victoria P. López Cabeza su colaboración y total disponibilidad para hacer posible este trabajo.

En segundo lugar quisiera agradecerle a mis amigos y compañeros de trabajo la comprensión, el apoyo y el ánimo durante todo este tiempo. Darle las gracias a todos los compañeros de estudios que me han acompañado durante estos años y que se han convertido en grandes amistades.

Y para mí más importante, gracias a mi familia. Gracias a mi mujer por apoyarme en todo momento y animarme en los momentos en los que faltaban fuerzas. Del mismo modo dar las gracias a mis padres y hermanos que siempre han estado ahí para darme ánimos y ayudarme en todo lo que fuese necesario desde el primer día.

Resumen

El presente estudio trata de evaluar las capacidades de mejora del confort térmico que puede ofrecer la existencia de diferentes especies arbóreas en diversos cañones urbanos de la ciudad de Sevilla.

En la actualidad existen numerosas calles de la ciudad que funcionan como islas de calor urbano, posiblemente debido a que contienen especies arbóreas que pueden no ser las más adecuadas por el área de sombreado que ofrecen, por el bajo número de árboles o simplemente por carecer de arbolado público.

Previamente al estudio se ha realizado una recopilación de información sobre la situación climatológica actual, islas de calor urbano, sistemas pasivos de climatización urbana, estructura de cañones urbanos, tipo de arbolado y especies representativas, etc.

El estudio se basa en la selección de tres cañones urbanos que son arquetípicos de la ciudad de Sevilla, por su similitud en aspect ratio a otras calles de la ciudad. Se simula cada tipo de cañón con el tipo de vegetación y orientación seleccionada para el cálculo en la herramienta ENVI-met, la cual nos arrojará una serie de resultados que comparados para que microclima tiene la ciudad y si con el cambio de especie arbórea, es posible bajar la temperatura de confort.

Los resultados pueden ayudar a decidir que tipo especie arbórea debe plantarse para reducir la temperatura, las islas de calor urbano y el impacto directo del cambio climático sobre la ciudad de Sevilla.

Palabras claves

Cambio climático, isla de calor urbano (UHI), cañón urbano, arbolado urbano, climatización natural, confort climático, temperatura media.

Índice

Agradecimientos
Resumen
Palabras claves

1. Introducción
- 1.1 Justificación del estudio
 - 1.2 Alcance

2. Objetivos
- 2.1 Objetivos generales
 - 2.2 Objetivos específicos

3. Estado de la cuestión
- 3.1 Cambio climático
 - 3.2 Islas de calor urbano (UHI)
 - 3.3 Sistemas pasivos de climatización urbana
 - 3.4 Vegetación y arbolado público como sistema pasivo de climatización

4. Caso de estudio
- 4.1 Climatología
 - 4.2 Patrimonio verde
 - 4.3 Cobertura arbórea
 - 4.4 Especies representativas
 - 4.5 Identificación y mapeado de especies seleccionadas
 - 4.6 Trama urbana de Sevilla
 - 4.7 Variables estructura de cañones
 - 4.8 Estructura de cañones seleccionados

5. Modelizaciones microclimáticas
- 5.1 Herramienta de modelización climática
 - 5.2 Características ENVI-met
 - 5.3 Variables de simulación
 - 5.4 Proceso de modelado
 - 5.5 Introducción de datos climatológicos

6. Resultado y discusión
- 6.1 Análisis de simulaciones térmicas
 - 6.1.1 Comparativa de temperaturas medias del cañón 1
 - 6.1.1.1 Conclusiones análisis térmico de cañón 1
 - 6.1.2 Comparativa análisis de confort térmico (UTCI) cañón 1
 - 6.1.2.1 Conclusiones análisis de confort térmico (UTCI) cañón 1
 - 6.1.3 Comparativa de temperaturas medias del cañón 2
 - 6.1.3.1 Conclusiones análisis térmico de cañón 2
 - 6.1.4 Comparativa análisis de confort térmico (UTCI) cañón 2
 - 6.1.4.1 Conclusiones análisis de confort térmico (UTCI) cañón 2
 - 6.1.5 Comparativa de temperaturas medias del cañón 3
 - 6.1.5.1 Conclusiones análisis térmico de cañón 3
 - 6.1.6 Comparativa análisis de confort térmico (UTCI) cañón 3
 - 6.1.6.1 Conclusiones análisis de confort térmico (UTCI) cañón 3

- 7.Conclusiones
- 7.1Conclusiones generales
 - 7.2 Futúras líneas de investigación

8. Bibliografía
- 8.1 Referencias bibliográficas
 - 8.2 Figuras



1. Introducción

1. Introducción

1.1 Justificación del estudio

El presente trabajo se incluye entre las Líneas de Investigación desarrolladas por el Grupo del Plan Andaluz de Investigación TEP206: Sostenibilidad en Arquitectura, Tecnología y Patrimonio, Materialidad y Sistemas Constructivos (SATH) (Sustainable Architecture Technology and Heritage).

Bajo el contexto en el que nos encontramos respecto al cambio climático, parece necesario el estudio de mejoras urbanas óptimas, para reducir en la medida de lo posible el aumento de la temperatura producida por el impacto del cambio climático.

Nos encontramos en una zona climática donde alcanzamos temperaturas muy elevadas en épocas estivales y de las que es necesario protegerse. Protegerse no debe ser sinónimo de dejar de salir al exterior, sino buscar soluciones con sistemas pasivos de climatización urbana adecuadas a la sostenibilidad y permitiendo un confort térmico propicio para la salud. Para ello el estudio se basará en el análisis sobre la influencia del arbolado público sobre patrones de confort térmico.

1.2 Alcance

Se delimita el ámbito del estudio al análisis del comportamiento del arbolado público en cañones seleccionados para determinar la posibilidad de reducir térmicamente la ciudad de Sevilla. Todo ello será posible con el uso de la herramienta ENVI-met, la cual nos permite calcular la temperaturas medias e índice de confort térmico (UTCI). Los resultados arrojados por ENVI-met, serán analizados para confirmar o no la posibilidad de mitigar el impacto del cambio climático mediante el arbolado público.

1.ENVI-met: Herramienta de cálculo microclimático
2.UTCI: Universal Thermal Climate Index (Índice de confort térmico)



2. Objetivos

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Este trabajo tiene como objetivo principal el análisis de la influencia del arbolado público sobre los patrones de confort térmico, en los que se tendrá en cuenta las características morfológicas y botánicas de los árboles estudiados, así como el cañón urbano en el que está inserto y como puede llegar a mitigar los diferentes problemas de sobrecalentamiento urbano en ciudades con temperaturas medias altas como Sevilla.

2.2 Objetivos específicos

- El conocimiento del arbolado urbano conforme a sus características morfológicas y botánicas para mejorar el confort climático que se tiene en las ciudades.
- Reducir térmicamente el impacto del cambio climático mediante el arbolado urbano.
- Investigar el efecto del uso de árboles y vegetación en la isla de calor urbano a través del caso de estudio en la ciudad de Sevilla.



3. Estado de la cuestión

3. Estado de la cuestión

3.1 Cambio climático

Debido al calentamiento global y a la creciente urbanización, se prevé que la temperatura media global de la superficie y del aire aumente entre 2 y 4°C durante este siglo, especialmente en áreas urbanas.[1] Según el informe especial de IPCC¹ publicado en 2018, se prevé que las temperaturas extremas en tierra aumenten más que la temperatura media global en superficie.

El aumento de las temperaturas de los días de calor extremo, en las latitudes medias se prevé en hasta aproximadamente 3 °C con un calentamiento global de 1,5 °C y hasta aproximadamente 4 °C con un calentamiento global de 2 °C; y el aumento de las temperaturas de las noches extremadamente frías, en las latitudes altas, se prevé en hasta aproximadamente en 4,5 °C con un calentamiento global de 1,5 °C y hasta aproximadamente 6 °C con un calentamiento global de 2 °C. Se calcula que el número de días cálidos aumentará en la mayoría de las regiones terrestres y que los mayores incrementos tendrán lugar en los trópicos.[2]

Según el PAACC², se indican que los incrementos de temperatura serán mayores en las medias de las temperaturas máximas que en las de las mínimas, y que estos incrementos serán variables de una década a otra, oscilando entre los 0,3 °C y los 1,5 °C por década. En 2050 se espera un aumento medio de 1,7 °C en las temperaturas medias de las mínimas y 2,2 °C en las medias de las máximas. En el año 2100 estos aumentos llegarían a ser de 4 °C en las temperaturas medias mínimas y 5,4 °C en las medias máximas.

A partir de mediados de siglo se prevé un descenso paulatino de las precipitaciones que afectaría a toda Andalucía (descenso medio del 7% con respecto al clima actual) y que sería especialmente severo en el Valle del Guadalquivir (sobre todo en la cuenca alta del río) y en la Cuenca Atlántica Andaluza (con reducciones de la precipitación que podrían superar el 20% con respecto al clima actual). [3]

1.IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
2.PAACC: Programa Andaluz de Adaptación al Cambio Climático

3.UHI: Urban Heat Island (Isla de calor urbano)
4.ONU: Organización de Naciones Unidas

3.2 Islas de calor urbano (UHI)

En climas templados la temperatura media del aire en verano duplicará la frecuencia de los períodos caracterizados por temperaturas del aire extremadamente altas lo que dará lugar a episodios de olas de calor más frecuentes, intensas y duraderas. También se sugiere que el cambio climático podría agravar el efecto de isla de calor urbano (UHI) en algunos lugares.

La isla de calor es una situación urbana (UHI) de acumulación de calor por materiales absorbentes de calor y atmosférica que se da en situaciones de estabilidad por la acción de un anticiclón térmico. Se presenta en las grandes ciudades y consiste en la dificultad de la disipación del calor durante las horas nocturnas. Comúnmente se da el fenómeno de elevación de la temperatura en zonas urbanas densamente construidas causado por una combinación de factores tales como la edificación, la falta de espacios verdes, el uso generalizado de superficies impermeables, los gases contaminantes o la generación de calor. Se ha observado que el fenómeno de la isla de calor aumenta con el tamaño de la ciudad. [4],[5].

“En torno a la mitad de la población mundial (55 %) vive ahora en núcleos urbanos; y para 2050 se proyecta que unos dos tercios (68 %) de todas las personas residan en áreas urbanas”(ONU 2019). Para 2030 la ONU⁴ cree que habrá un total de 43 “megaciudades”, muchas en países en desarrollo, aunque sostiene que algunos núcleos urbanos de crecimiento acelerado tienen menos de un millón de habitantes, y actualmente casi la mitad de los residentes en áreas urbanas del mundo vive en ciudades con menos de medio millón.

Esto requiere una mejor comprensión de cómo las variaciones de los microclimas dentro de un entorno urbano influyen en la salud y el bienestar de las personas. De particular importancia son los problemas de confort térmico humano. Durante olas de calor extremo, el estrés por calor puede tener efectos negativos en la salud y el bienestar de las personas causando insolación y muerte prematura. Teniendo en cuenta los problemas climáticos en el proceso de planificación urbana es posible crear condiciones menos estresantes y, por lo tanto, reducir la frecuencia de insolación y aumentar el confort general durante las olas de calor en las ciudades. [6]

3.3 Sistemas pasivos de climatización urbana

Existen diferentes estrategias urbanas que pueden ayudar a mitigar la isla de calor urbano (UHI). Entre las más comunes se encuentra la forma urbana compacta que se utiliza para proporcionar más sombra durante el día, por lo que la temperatura exterior mejora.

Otra estrategia urbana utilizada son la elección del tipo de albedo, ya que los colores y el material del pavimento influye en la temperatura del espacio expuesto a radiaciones solares.

El pavimento de una avenida peatonal de Andalucía puede alcanzar en verano los 64ºc de temperatura, generándose un perfil térmico inadecuado para los peatones.

La estrategia urbana esencial para mitigar la isla de calor urbano (UHI) es el estudio de la vegetación según sus características morfológicas y botánicas para determinar que especie funciona mejor en los diferentes cañones urbanos de las ciudades.[7]

3.4 Vegetación y arbolado público como sistema pasivo de climatización

Los árboles urbanos, y la vegetación en general, modifican beneficiosamente el microclima urbano ya que bajan la temperatura, incrementan la humedad, reducen la exposición a radiación solar directa, reducen la velocidad del viento, retienen agua y generan oxígeno.

El papel del arbolado de gran desarrollo de copa en la intercepción de la radiación ultravioleta es muy relevante especialmente en climas como el de Andalucía, que entre mayo y septiembre se alcanzan valores del índice de ultravioleta (IUV) calificable como nivel crítico; el incremento de cáncer de piel en el sur de España es muy relevante.

El efecto de enfriamiento de la vegetación se logra mediante la proyección de sombra, prevención de luz solar directa y la evapotranspiración. [17].

El proceso de evapotranspiración se debe a que la ganancia de calor se reduce al convertir la energía solar en un flujo de calor latente en lugar de sensible, reduciendo así la temperatura ambiente. [18]. A través de esta capacidad se eliminan del aire 600 calorías por gramo de agua evaporada rebajándose la temperatura. [17].

Numerosos estudios han confirmado que la vegetación contribuye positivamente a un ambiente térmico confortable. [8]. Se concluyó que las características de los árboles (el color y tamaño de las hojas y la forma de la copa) tienen correlaciones con el rendimiento de enfriamiento. [9].

Los árboles con diferentes características morfológicas, incluida la altura, el ancho de la copa y la densidad de las hojas, tienen efectos variables en el ambiente térmico. [10]. Estas características están determinadas por los diferentes componentes de los árboles como son la copa, tronco y el tipo de hoja. Las características morfológicas de los árboles que tienen un impacto en los ambientes térmicos al aire libre aún necesitan más investigación mediante el estudio de árboles individuales.

Con este TFG se pretende investigar los impactos de enfriamiento de diferentes características de los árboles en la ciudad de Sevilla.

Se analizarán diferentes especies arbóreas existentes en la ciudad, teniendo en cuenta características morfológicas y botánicas, ubicación y orientación de los distintos cañones urbanos además del aspecto-ratio (AR) para comparar las variaciones térmicas entre los distintos casos.

Para ellos se introducirán los datos de los análisis en el programa de simulación ENVI-met.



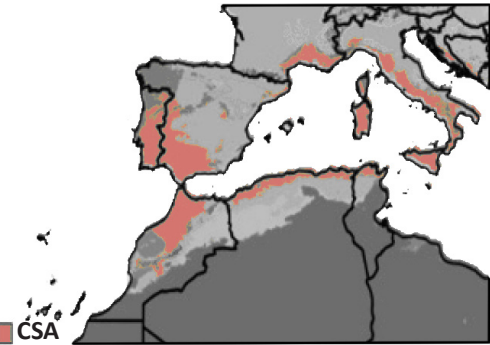
4. Caso de estudio

4.1 Climatología

El caso de estudio se ubica en la ciudad de Sevilla. Según la clasificación climática de Köppen, la clasificación para la ciudad de Sevilla es CSA.

CSA: Clima mediterráneo típico. (Verano cálido).

La temperatura media del mes más cálido supera los 22°C, con lluvias estacionales y temperaturas cálidas en verano. Este tipo de clima además de en la cuenca mediterránea, se da en zonas de Chile, California y Europa meridional. [11]



Clasificación Köppen

Fig.6

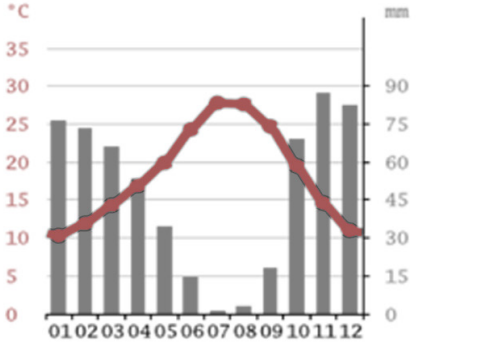


Gráfico climático por mes clasificación köppen

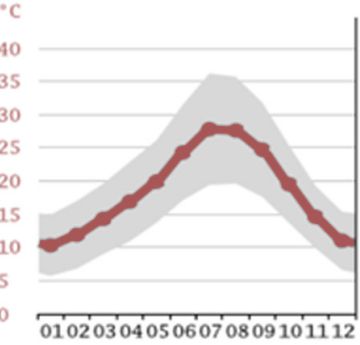


Fig.7

Puede considerarse un clima templado-cálido ya que sus temperaturas mínimas medias en invierno son de 5°C y temperaturas medias de verano altas, con una media que supera los 33-37°C.

4.2 Patrimonio verde

La ciudad de Sevilla posee una amplia gama de jardines, cuyo origen e inspiración se remonta a distintos periodos históricos.

La ciudad de Sevilla posee una serie de parques y jardines catalogados como Bien de Interés Cultural (BIC) que son el parque María Luisa, jardines de Murillo y el paseo de Catalina de Ribera.

Además, existe un amplio abanico de pequeños y grandes parques urbanos, como Amate, Los Príncipes, Miraflores, Infanta Elena, El Tamarguillo..., así como los corredores verdes asociados a los cauces del Guadalquivir y el Guadaira.

Cabe resaltar la importancia del arbolado viario ya que aporta cantidad de beneficios a la ciudad y sus ciudadanos por servicios ecosistémicos aporta que potencian los beneficios de todas las áreas verdes de la ciudad al conectar muchas de ellas a través de los corredores verdes, que se articulan mediante el arbolado viario, conformando una gran malla verde urbana.[13]

1.CSA: Clima templado de veranos secos y cálidos

2.BIC: Bien de Interés Cultural

4.3 Cobertura arbórea

La cobertura arbórea urbana es un indicador de la cantidad y calidad de hojas saludables y funcionales por lo que su valor está muy relacionado con los servicios ecosistémicos que el arbolado y la Infraestructura Verde Urbana (particularmente el bosque urbano) proporciona. Los beneficios derivados de estos servicios dependen de todos los árboles presentes, ya sea de carácter público o privado en ambos casos.

Los datos de cobertura arbórea actual de la ciudad de Sevilla son del 20% aproximadamente, con un total de 235.000 árboles urbanos censados.

La cobertura arbórea está relacionada con el número de árboles, aunque no siempre una mayor cantidad de árboles supone una mayor cobertura. No es suficiente con plantar muchos árboles en cualquier sitio y de cualquier manera sin previsión de sus necesidades futuras y si realmente podrán desarrollar su potencial tamaño.

Una cobertura arbórea de calidad se consigue mediante la óptima elección de aspectos como el tipo de especie, la correcta ubicación, que espacio disponible sea el adecuado para su desarrollo en la fase de madurez, tanto aéreo como subterráneo, sin necesidad de control del tamaño de la copa por interferencias con otros árboles, con fachadas, con otros elementos urbanos o instalaciones. [13]

4.4 Especies representativas

La diversidad de especies arboladas global para el conjunto de la ciudad es bastante amplia contando con un total de 253 especies y variedades distintas existentes entre las que destacan las especies representadas en las tablas [Fig.8, Fig. 9].

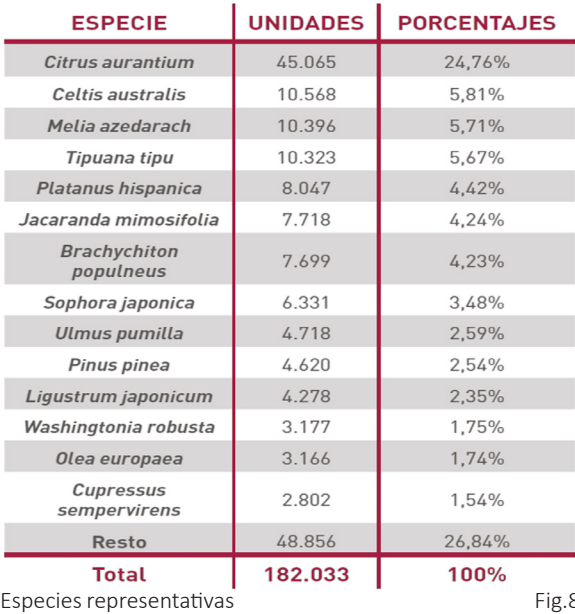


Fig.8

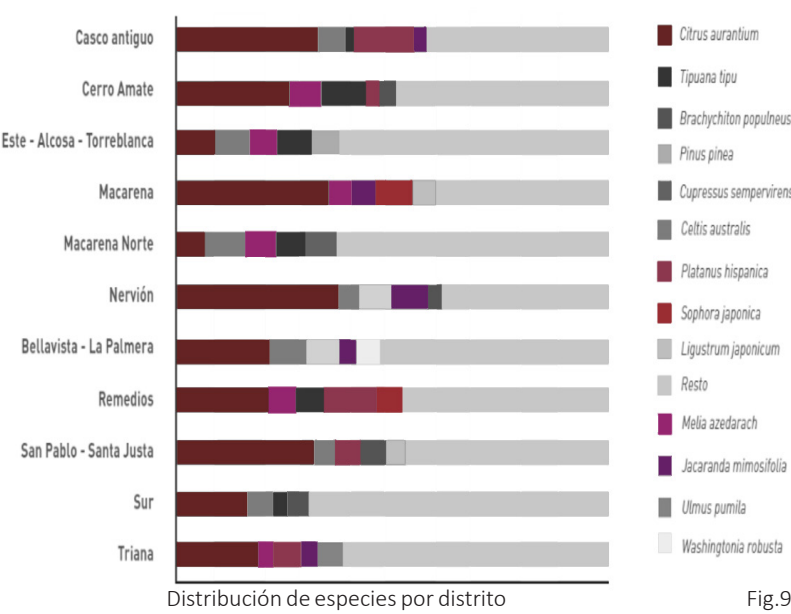


Fig.9

Destaca la presencia de los naranjos con el 25% del total. Es una excepcionalidad propia de Sevilla, donde el naranjo es una especie monumental ligada a la imagen de la ciudad.

4.2 Identificación y mapeado de especies seleccionadas

Las especies arbóreas seleccionadas, bien por su masiva presencia o por la existencia de ejemplares monumentales son los siguientes:

- Cinamomo o árbol del paraíso (Melia azedarach):

Árbol caducifolio, de rápido desarrollo que puede alcanzar los 15m de altura. Podemos encontrarlos en lugares como la avenida San Francisco Javier o el Jardín de las Delicias. Pero donde existen el mayor número de ejemplares de cinamomos en nuestra ciudad es en el parque de Miraflores. Longevidad: 100 años. Presencia: 10798 ejemplares (5,55% del total). [13], [14], [15].

- Plátano de sombra (Platanus hispánica):

Árbol caducifolio, de rápido desarrollo que puede sobrepasar los 40m de altura, aunque los que se encuentran en Sevilla no suelen medir más de 20m. Encontramos numerosos ejemplares por toda la ciudad como en la plaza de San Lorenzo, plaza del Cristo de Burgos, plaza Nueva, Alfalfa, Avenida de la Borbolla, Resolana, Torneo, Portugal y Carlos V. calles San Pablo, Reyes Católicos y Adriano. Longevidad: hasta 300 años. Presencia: 8504 ejemplares (4,37% del total). [13], [14], [15].

- Naranjo amargo (Citrus aurantium):

Árbol perennifolio, de desarrollo lento que puede alcanzar los 6m de altura. Cuenta con mayor número de especies y es quizás sea el árbol patrimonial más importante en Sevilla. Longevidad: Suele superar los 100 años. Presencia: 46.117 ejemplares (26,70% del total). [13], [14], [15].

- Jacaranda (Jacaranda mimosifolia):

También conocido como palisandro. Árbol caducifolio, de desarrollo lento que puede alcanzar los 20m de altura. Encontramos numerosos ejemplares en la plaza del Museo, Jerónimo de Córdoba, Concordia, Av. Jiménez Becerril, Torneo, Ramón y Cajal, Eduardo Dato y el barrio de San Jerónimo entre otros. Longevidad: Suele superar los 100 años. Presencia: 8109 ejemplares (4,17% del total). [13], [14], [15].

- Acacia del Japón (Sophora japónica):

Árbol caducifolio, de rápido desarrollo que puede alcanzar los 20m de altura. Se encuentran principalmente en el distrito Macarena y Los Remedios, aunque existen un gran número de ejemplares por las diferentes calles de Sevilla. Longevidad: hasta 160 años. Presencia: 6853 ejemplares (3,52% del total). [13], [14], [15], [16].



Nombre común:

Acacia de Japón

Nombre científico:

Sophora japónica

Género:

Sophora



FENOLOGÍA

ene

feb

mar

abr

may

jun

jul

ago

sep

oct

nov

dic

Presencia de la hoja

Floración

Fructificación

ene

feb

mar

abr

may

jun

jul

ago

sep

oct

nov

dic

Presencia de la hoja

Floración

Fructificación

ene

feb

mar

abr

may

jun

jul

ago

sep

oct

nov

dic

Presencia de la hoja

Floración

Fructificación

ene

feb

mar

abr

may

jun

jul

ago

sep

oct

nov

dic

Presencia de la hoja

Floración

Fructificación

ene

feb

mar

abr

may

jun

jul

ago

sep

oct

nov

dic

Presencia de la hoja

Floración

Fructificación

ene

feb

mar

abr

may

jun

jul

ago

sep

oct

nov

dic

MORFOBIOLOGÍA

Longitud máxima:

10 - 15 m

Profundidad raíces:

60-100cm (baja)

Copa:

Globosa/4-8 m diam.

Ramas:

Simpódica (Ramificación lateral)

Hojas:

Triangular/2-5cm long/caduca

Sombra:

Densa

Longitud máxima:

24 -40 m

Profundidad raíces:

150cm (media)

Copa:

Globosa/6-12m diam.

Ramas:

Simpódica (Ramificación lateral)

Hojas:

Palmeada / 3-10cm long/caduca

Sombra:

Muy densa

Longitud máxima:

5 - 6m

Profundidad raíces:

60 cm (baja)

Copa:

Globosa/2-4m diam.

Ramas:

Simpódica (Ramificación lateral)

Hojas:

Lanceolada / 7-10cm long/perenne

Sombra:

Muy densa

Longitud máxima:

8 - 20 m

Profundidad raíces:

200cm (alta)

Copa:

Globosa/10-12m diam

Ramas:

Simpódica (Ramificación lateral)

Hojas:

Compuesta bipinnada/2-5 cm /caduca

Sombra:

Densa

Longitud máxima:

15 - 20 m

Profundidad raíces:

60cm (baja)

Copa:

Globosa/5-6m diam

Ramas:

Simpódica (Ramificación lateral)

Hojas:

Compuesta Imparipinnada/3-7 cm /caduca

Sombra:

Densa



Fig.10

Las especies arbóreas han sido seleccionadas por su amplia presencia en las calles y zonas verdes de la ciudad de Sevilla. La clasificación se ha realizado por sus diferentes características geométricas y morfológicas como el porte, amplitud de copa, densidad de follaje, forma y diametro de las hojas y profundidad de raíces entre otras.

4.6 Trama urbana de Sevilla

La ciudad de Sevilla se compone de un plano complejo y heterogéneo, presentando diferentes tramas urbanas debido a sus diferentes épocas históricas. Centrandonos en el casco antiguo de la ciudad y alrededores, se pueden distinguir las diferentes épocas de crecimiento, entre las que destacan tres tipos de plano:

- Vestigios de plano ortogonal perteneciente a la época romana, donde las calles se cortan perpendicularmente (cardo y decumano).
- Plano irregular debido a un crecimiento espontáneo y orgánico. Las calles se disponen de modo irregular en torno a un núcleo central. Propio de la ciudad en su época islámica.
- El plano radiocéntrico siendo la morfología urbana más regular ya que pertenece a los siglos XIX y XX. Se origina a partir de vías radiales y otras dispuestas de modo concéntrico. La estructura general del plano de Sevilla responde a ese esquema, compuesto por rondas concéntricas decircunvalación y líneas de acceso (radiales) al casco antiguo de la ciudad. [19], [20].

4.7 Variables estructura de cañones

Para la selección de los cañones urbanos se tendrán en cuenta variables geométricas, las cuales vienen dadas a partir del cálculo del “aspect ratio” de los diferentes cañones, basándose en la relación de altura media de los edificios y el ancho total de la calle ($Ar=h/w$). Además se tendrá en cuenta la proporción entre calzada y acerado, para comprobar que las especies seleccionadas puedan ser plantadas en el mismo.

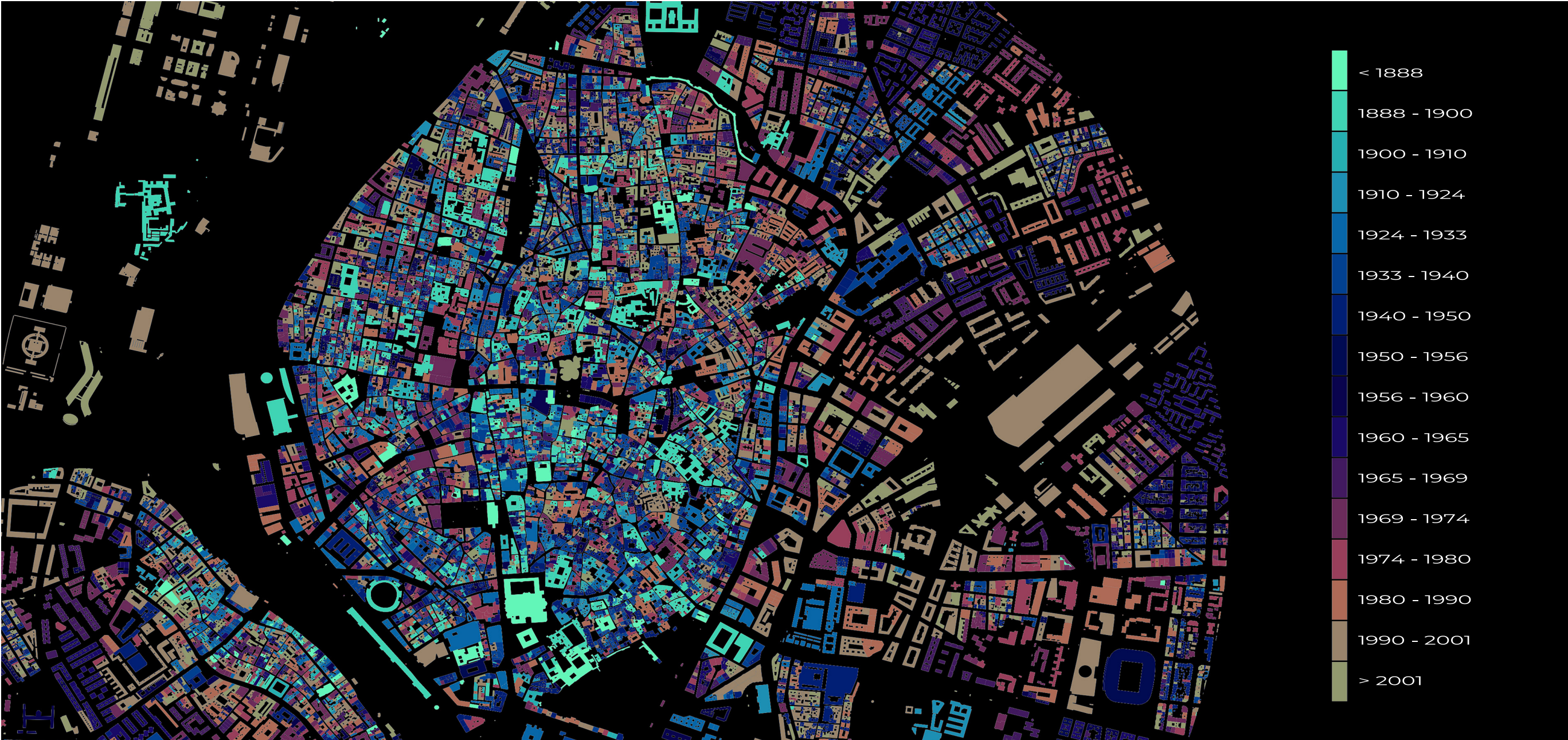


Fig.11 . Imagen representativa del crecimiento de la ciudad se Sevilla

4.8 Estructura de cañones seleccionados

La selección de cañones urbanos se ha realizado entre cañones arquetípicos de la ciudad y con situación en casco histórico de la ciudad, ronda histórica y sobre la primera ampliación planificada hacia el este de la ciudad. De este modo se comprobará la resiliencia termica de la trama urbana en los diferentes cañones urbanos por sus diferentes características, presencia de arbolado o por densidad de tráfico. Los cañones urbanos han sido seleccionados por sus distintas características geométricas y aspecto ratio. Además, tienen características similares a otras calles de la propia ciudad, por lo que el resultado arrojado por el estudio de estos cañones podrá ser aplicables a las mismas.

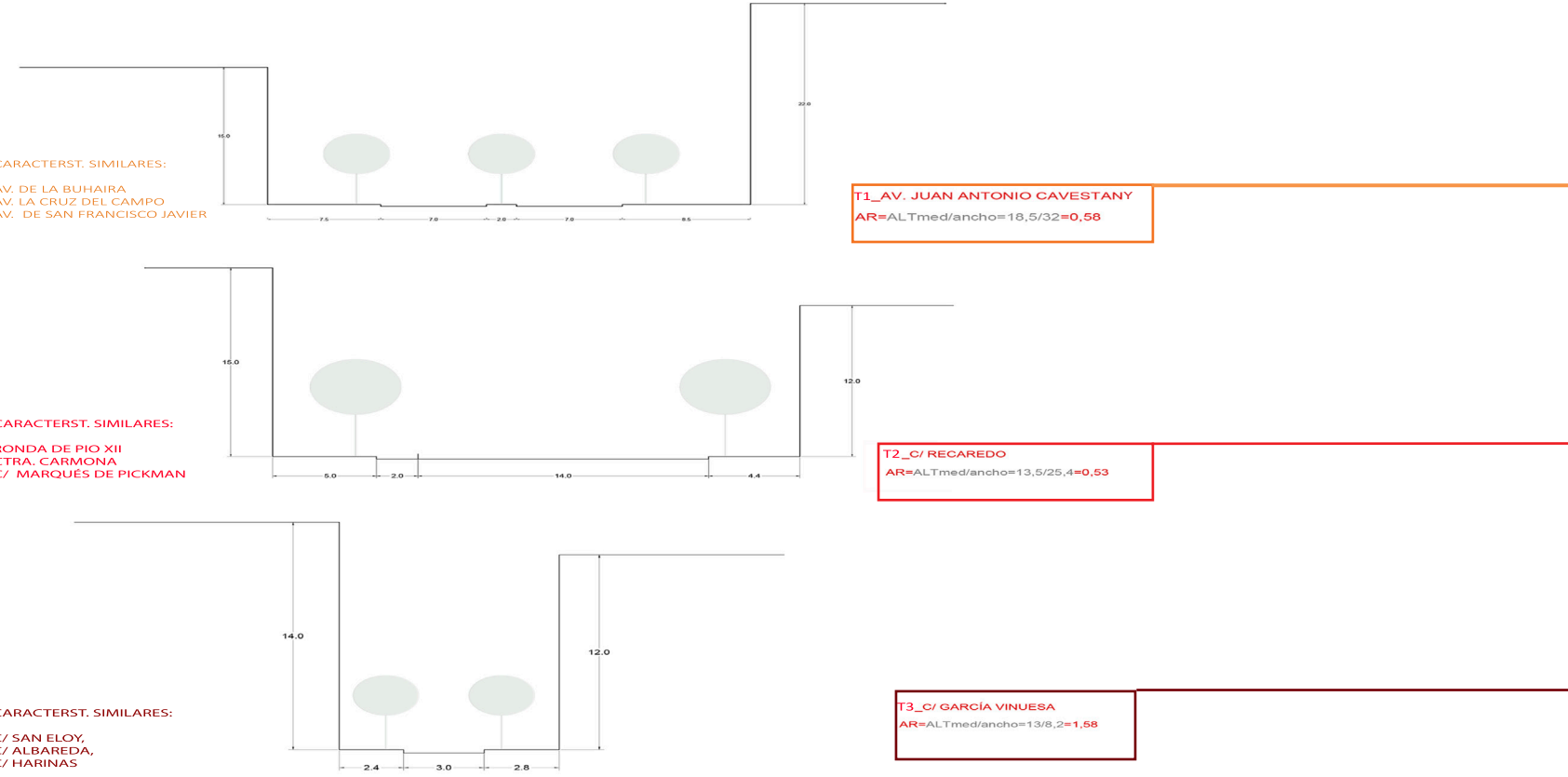
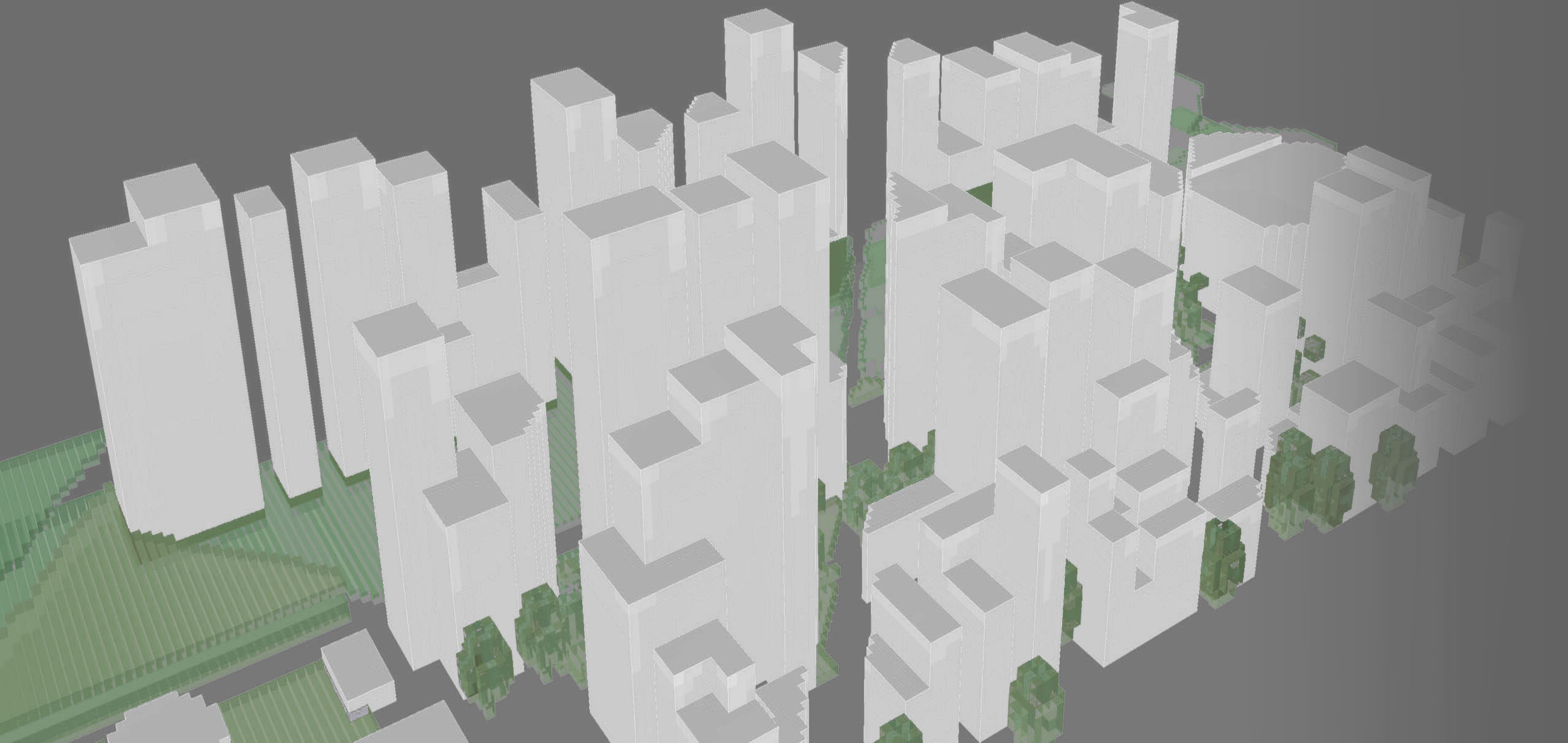


Fig.12 . Vista aérea de la ciudad de sevilla con ubicación de cañones



5. Modelizaciones microclimáticas

5. Modelizaciones microclimáticas

5.1 Herramienta de modelización climática

Para el estudio que se va a realizar, se necesita una herramienta adecuada que tenga en cuenta todas las variables en el proceso de diseño.

El análisis y cálculo es un tema complejo que requerirá una potente herramienta de simulación para calcular las ecuaciones de Navier-Stokes que definen el comportamiento de la mecánica de fluidos. Deberá definir comportamientos termodinámicos con suficiente flexibilidad, de modo que el modelo se pueda modificar de acuerdo con los ajustes necesarios al compararlos con la realidad física y la posibilidad de incluir todos los parámetros que le afectan.

Por lo tanto, el uso de un potente software de cálculo basado en CFD (Dinámica de fluidos computacional) a elementos finitos. Entre las diferentes herramientas capaces de simular un entorno exterior basadas en CFD que podemos encontrar ANSYS Fluent, IES. VE, Design Builder y ENVI-met como softwares más utilizados.

ANSYS Fluent es un software diseñado principalmente para simular modelos de fluidos y turbulencias que requiere una cantidad de tiempo no proporcional para ser aplicado a edificios.

Design Builder es un software específico para arquitectura del que se ha informado que no simula con precisión temperatura en espacios exteriores. [21].

Dado que el estudio se realizará sobre espacios exteriores, el software más adecuado parece ser ENVI-met, que describimos a continuación.

5.2 Características ENVI-met

El programa fue creado por Michael Bruse (Instituto de Geografía, Departamento de Geoinformática, Grupo de Modelado Ambiental, Universidad de Mainz) para simular la interacción entre superficies, suelos y aire en un entorno urbano basado en fluidos dinámicos y termodinámicos.[22].

Varios estudios, utilizan ENVI-met para predecir el efecto de los distintos factores que influyen en el microclima urbano, como la geometría y la orientación, morfología urbana, albedo de las superficies, la presencia de vegetación, además de sus implicaciones en el confort térmico de los usuarios.[21].

El software ENVI-met está diseñado para analizar microclimas a través de las leyes fundamentales de fluidos y termodinámica, pudiendo simular interacciones entre edificios, suelo, vegetación y aire. Además, permite el cálculo de varios parámetros del espacio exterior como la calidad del aire y confort térmico, para lo cual solo se requieren los datos geométricos y climáticos que se pueden recopilar de cualquier estación meteorológica cercana.[22].

Para el cálculo de los distintos cañones urbanos seleccionados, se utilizarán 5 de las herramientas que nos ofrece el programa ENVI-met, que son Spaces, ENVI-guide, ENVI-core”, BIO-met y Leonardo.

Spaces nos permite modelar cada cañón con sus diferentes características morfológicas e introducir los diferentes materiales que lo componen, como el pavimento, materialidad de muros, cubiertas y vegetación.

ENVI-guide introducimos los parámetros climatológicos además de temperatura y humedad subterránea para que el cálculo sea lo más real posible.

ENVI-core chequea el archivo creado para comprobar posibles errores y posteriormente realiza el cálculo completo del cañón.

Una vez realizado el cálculo, “BIO-met” permite realizar un análisis de confort utilizando el índice UTCI.

Finalmente “Leonardo” nos permite visualizar y comparar los datos extraídos del cálculo.

5.3 Variables de simulación

Para la simulación en EMVI-met se han seguido una serie de pautas básicas para la introducción de los diferentes cañones:

- Geometría del cañón (Aspect Ratio)(x3):

Se introducirá un el modelo con las características propias de los cañones seleccionados según aspec ratio, incluyendo diferentes secciones de edificios, volúmenes significativos, tipos de materiales e incluso colores de los mismos.

- Direccionalidad (x2):

Se introducirá cada cañón seleccionado con orientaciones N-S y E-O para simular el cada cañón y los similares anteiormente expuestos. En nuestro caso de estudio existen diferencias significativas entre las orientaciones ya que se realiza en Sevilla, siendo la orientación N-S la más favorable.

- Opciones (x3):

El estudio se circunscribirá a 2 especies por la complejidad de las simulaciones y el número de variables.



















Las especies seleccionadas son el Naranjo amargo y la Jacaranda. La selección se ha realizado teniendo cuenta su diferencia en la densidad del follaje, morfobiología, geometría y porte. Ambas especies se encuentran por defecto en la base de datos de ENVI-met, por lo que nos facilita la introducción de datos y los cálculos serán más fiables.

Se introducirá 1 especie en cada cálculo para determinar cuál de ellas es la especie óptima para cada uno de ellos.

La primera simulación cada cañón se realizará con el número de especies en relación a los alcorques preexistentes en cada uno de ellos, para ambas especies.

Se realizará un tercer cálculo con un aumento de densidad de vegetación para determinar la influencia o no del número de especies en el caso del Naranjo amargo.

Se simularán los diferentes cañones ,con su orientación real, sin ningún tipo de vegetación para poder comparar los resultados de confort en el caso de no existir vegetación alguna. Contamos con un total de 21 simulaciones entre las que sacaremos las conclusiones del estudio.

	E1	E1*2	E2	
CAÑÓN 1 N-S				Cañón 1: Calle García Vinuesa Cañón 2: Calle Recaredo Cañón 3: Av. Juan Antonio Cavestany
CAÑÓN 1 E-O				
CAÑÓN 2 N-S				
CAÑÓN 2 E-O				E1: Naranjo E2: Jacaranda *2: Duplicidad de arbolado
CAÑÓN 3 N-S				
CAÑÓN 3 E-O				

Matriz de cálculo

Fig.14

5.4 Proceso de modelado

Para el modelado de los distintos cañones urbanos, se ha mantenido una geometría similar pero no exacta a la de los cañones, de este modo se está modelando cañones genéricos y arquetípicos de la propia ciudad de Sevilla.

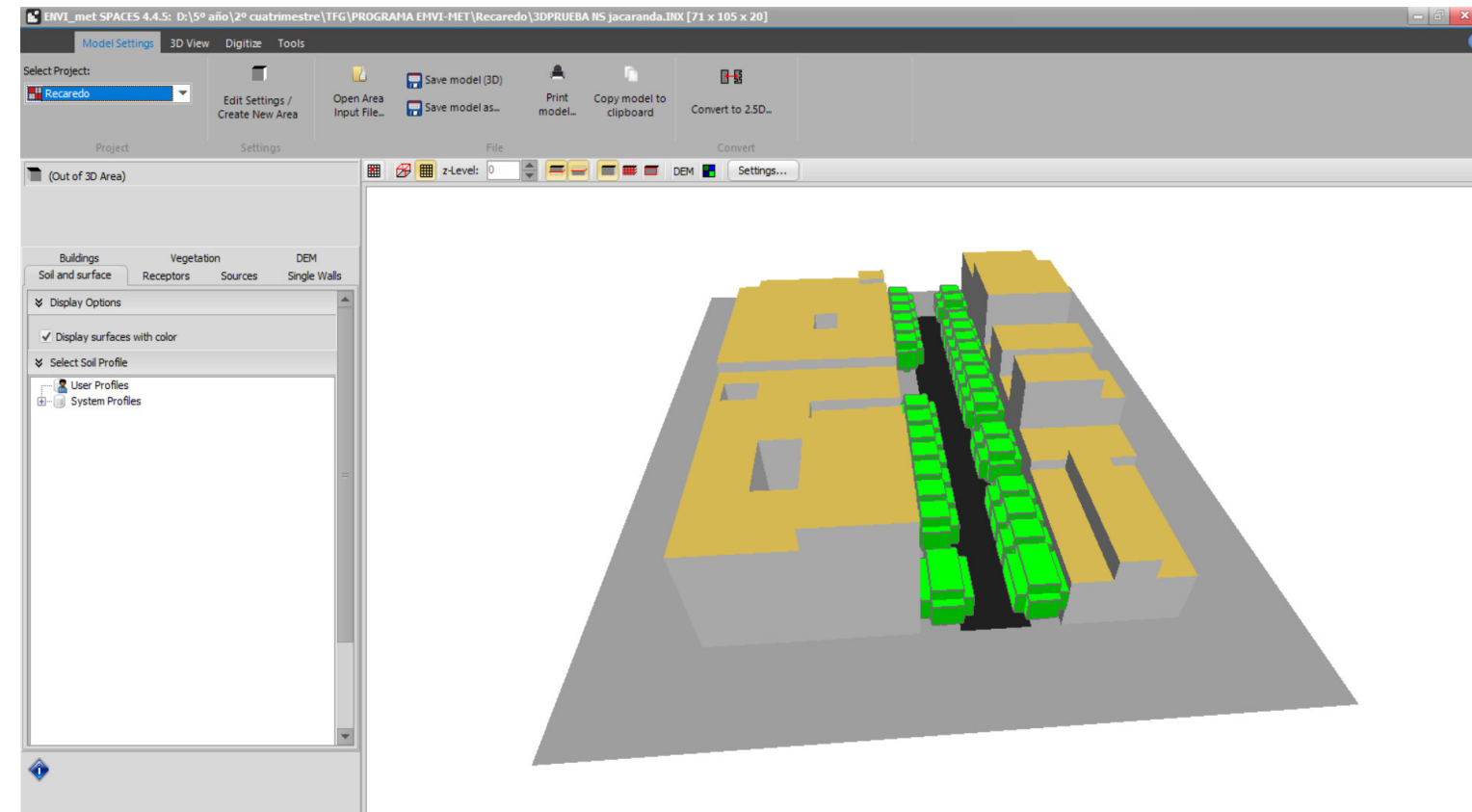


Fig.15 . Captura proceso de modelado de herramienta Spaces (EMVI-met).

El modelado que se muestra pertenece a la Calle Reacaredo, con unas características específicas tanto en fachadas como en cubiertas de los edificios que la conforman. De igual modo se introducen los diferentes materiales que conforman el pavimento y vegetación a simular para determinar posible grado de mejora del microclima del cañón de estudio.

5.5 Introducción datos climatológicos

Los diferentes parámetros a introducir en la herramienta ENVI-guide son los del día o días que se vaya a calcular, horas de cálculo a realizar a partir de dicha fecha y hora anteriormente expuesta.

Por otra parte se introducen los datos climatológicos tales como la velocidad del viento, dirección del viento, rugosidad, temperaturas máximas y mínimas así como humedad relativa.

ENVI-met también requiere de los parámetros de humedad y temperatura de las capas de terreno para un mayor acercamiento a la realidad.

En el caso de temperaturas por horas se extraen de bases de datos de AEMET, de este modo el cálculo será lo mas real posible respecto al caso de estudio.

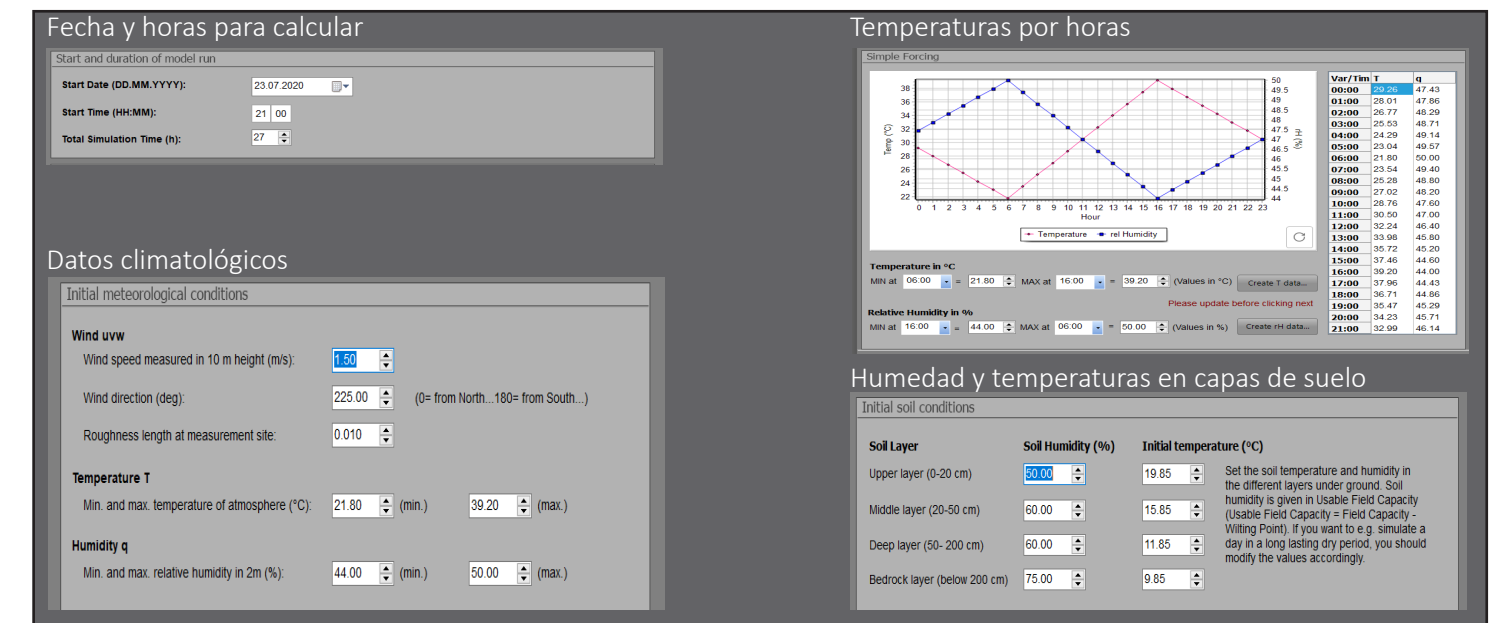


Fig.16 . Capturas de proceso de introducción de datos.



5.6 Diagrama de metodología de simulaciones

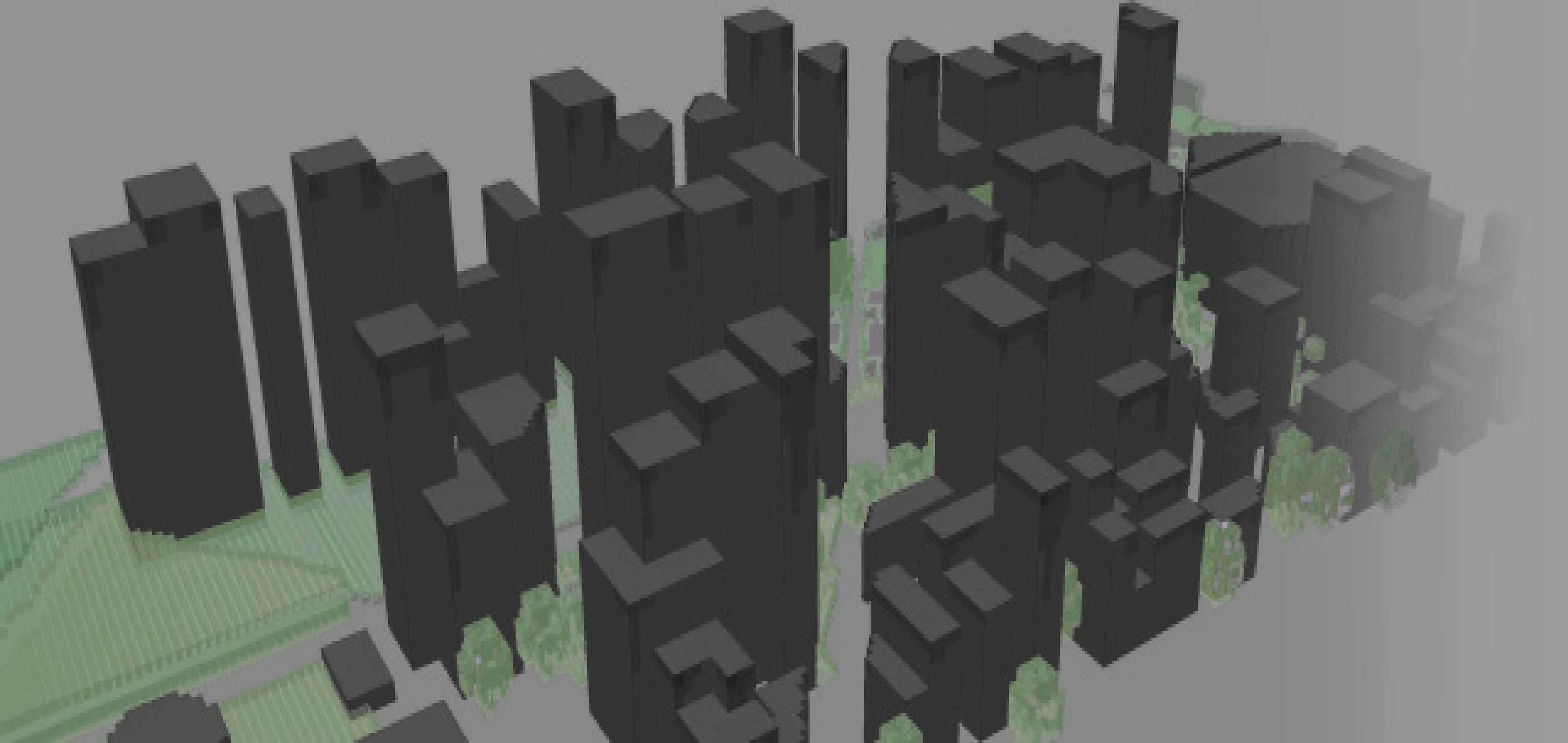
Para llevar a cabo las simulaciones, se ha realizado un esquema circular, que comienza con el estudio general de la ciudad de Sevilla (1), en el que se estudian aspectos relevantes tales como la climatología, la trama urbana o las especies representativas de vegetación de la propia ciudad.

Tras analizar el caso de estudio, se seleccionan tres tipos de cañones urbanos (2), los cuales son arquetípicos ya que por su tipología y características geométricas y orientación (3) son similares a una amplia variedad de cañones.

Posteriormente se modelan los diferentes cañones urbanos y se introducen todas las variables y parámetros necesarios para el cálculo en la herramienta ENVI-met (4).

Una vez realizado los cálculos de las 21 variables (7 por cañón), el resultado de las diferentes herramientas proporcionadas por ENVI-met, tanto temperatura potencial del aire como análisis de confort térmico UTCI, es analizado y comparado(5).

Para finalizar sacamos las conclusiones del estudio realizado(6), el cual por el carácter general de los cañones seleccionados, podemos predecir con carácter general el comportamiento del microclima de los cañones urbanos de la ciudad de Sevilla.



6. Resultados y discusión

6.1 Análisis de simulaciones térmicas

Para llevar a cabo el análisis de los resultados arrojados por ENVI-met, se han extraído diagramas de temperatura potencial del aire a una altura de 3 metros. Para todos los casos, se analiza el día 24/07/2020 a las 16:00 pm.

Para llevar a cabo el análisis de los resultados generados por BIO-met, se han extraído diagramas de temperatura calculados con índice de confort UTCI a una altura de 3 metros. Para todos los casos, se analiza el día 24/07/2020 a las 16:00 pm. Para el análisis de confort se añade la variable de cálculo del cañón con su orientación real y sin vegetación para comprobar la influencia de la misma sobre el confort térmico del cañón.

6.1.1 Comparativa de temperaturas medias del cañón 1

Cañón 1:

Calle seleccionada ----- Calle García Vinuesa

AR ---- 13/8,2 = 1,58

Orientación real ---- Este- Oeste

Medias térmicas:

NS	37,06 °C	37,05 °C	36,94 °C
EO	36,93 °C	36,91 °C	36,84 °C
	V1(x1 NARANJO)	V2(x2 NARANJOS)	V3(x1 JACARANDA)

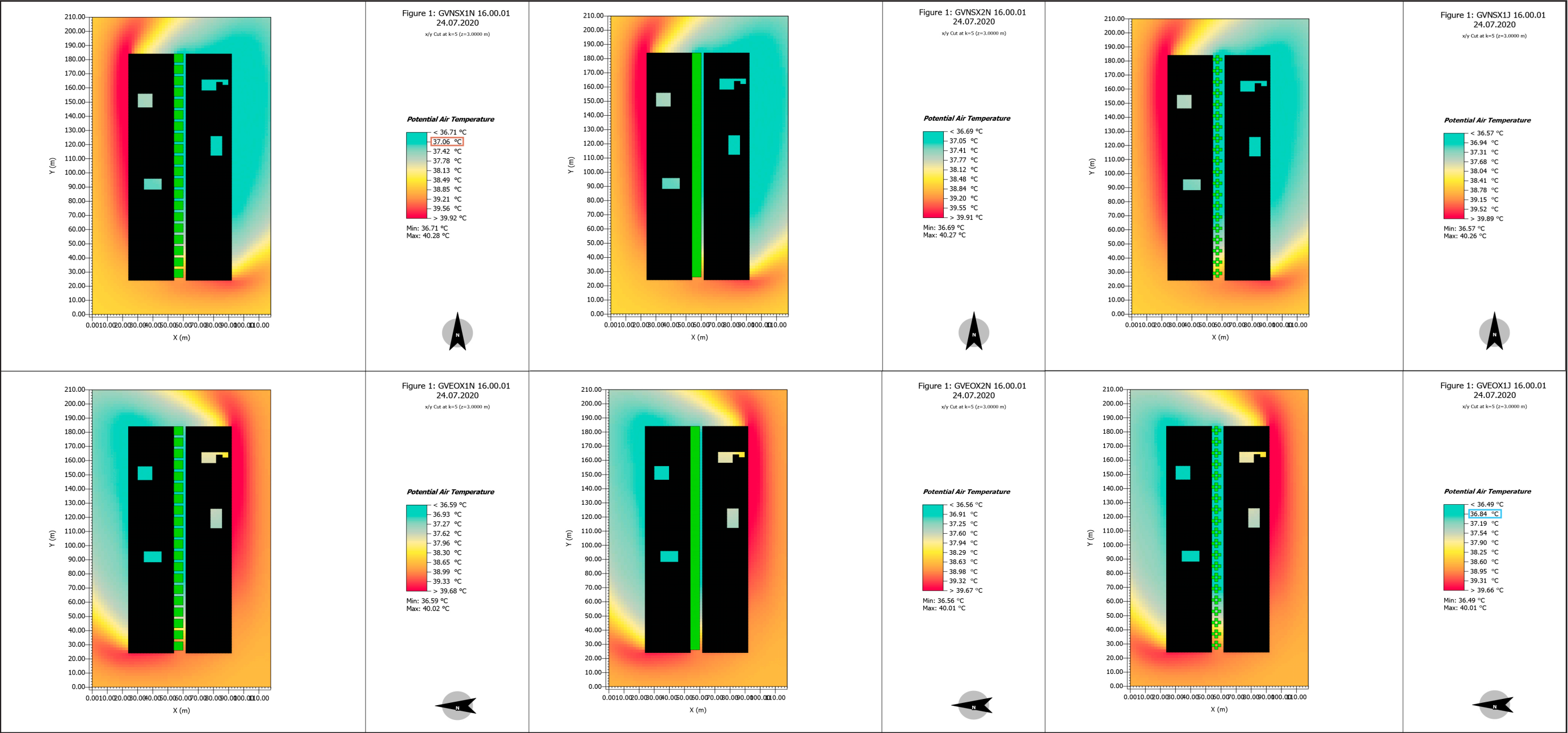


Fig. 19 .Imágenes de Resultados de Temperatura potencial del aire para C/ García Vinuesa. Extracción herramienta Leonardo.

Comparativa entre orientaciones

Se compararán las diferentes orientaciones para determinar su influencia sobre la temperatura media.

-V1 (x1 Naranja)

Se observa que existen leves diferencias térmicas entre ambas orientaciones. Tras la extracción de temperaturas medias del cañón, comprobamos que la diferencia térmica entre orientaciones para V1 es de 0,13 °C, siendo la orientación Norte-Sur la más desfavorable.

- V2 (x2 Naranja)

Existen leves diferencias térmicas entre ambas orientaciones. Tras la extracción de temperaturas medias del cañón, comprobamos que la diferencia térmica entre orientaciones para V2 es de 0,14 °C, siendo la orientación Norte-Sur la más desfavorable.

- V3 (x1 Jacaranda)

Existen leves diferencias térmicas entre ambas orientaciones. Tras la extracción de temperaturas medias del cañón, comprobamos que la diferencia térmica entre orientaciones para V3 es de 0,10 °C, siendo la orientación Norte-Sur la más desfavorable.

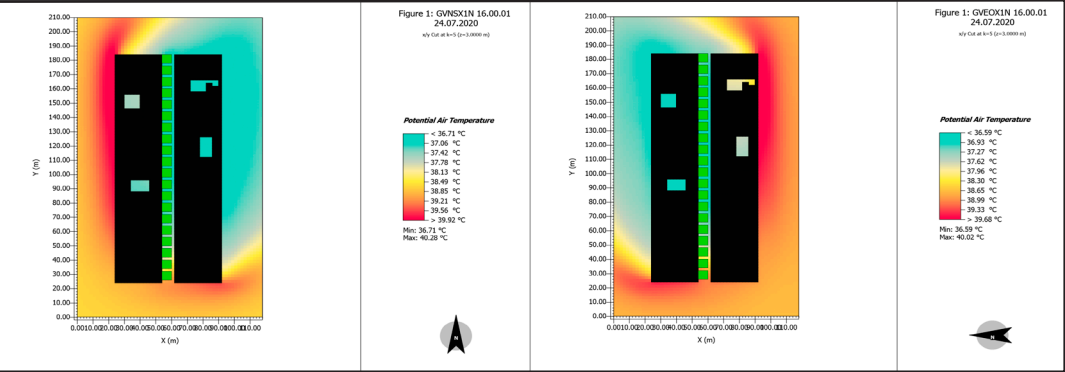


Fig. 20 Imágenes de Resultados de Temperatura potencial del aire con V1 en ambas orientaciones para C/ García Vinuesa. Extracción herramienta Leonardo.

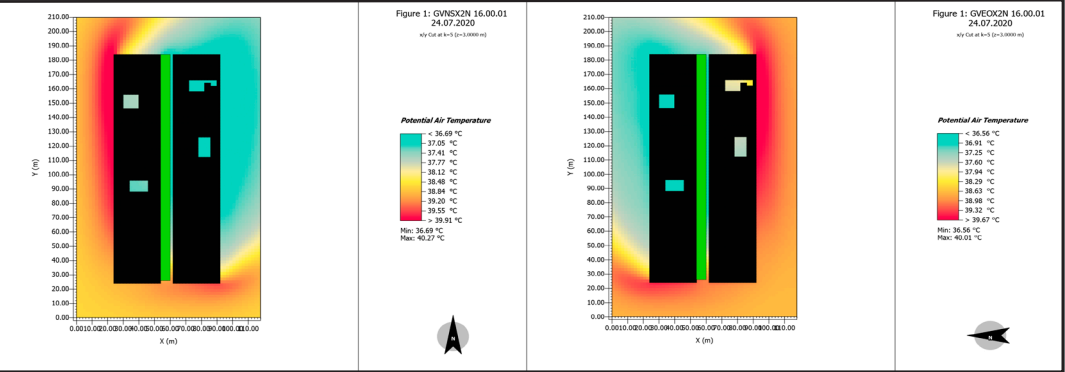


Fig. 21. Imágenes de Resultados de Temperatura potencial del aire con V2 en ambas orientaciones para C/ García Vinuesa. Extracción herramienta Leonardo.

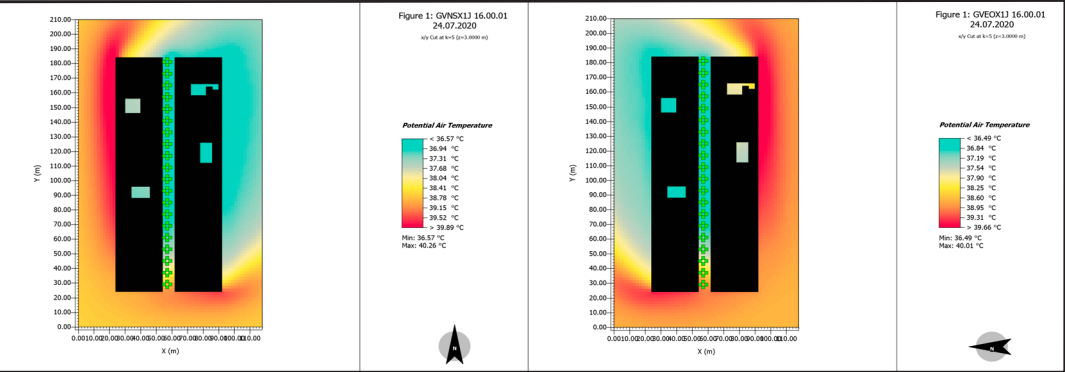


Fig. 22. Imágenes de Resultados de Temperatura potencial del aire con V3 en ambas orientaciones para C/ García Vinuesa. Extracción herramienta Leonardo.

Comparativa entre especies

Se compararán las diferentes especies con misma orientación para determinar su influencia sobre la temperatura media.

- Norte-Sur

V1(x1 Naranja) > 0,01°C > V2(X2 Naranjos) > 0,11°C > V3(x1 Jacaranda)

Existen saltos térmicos entre variables de hasta 0,12°C, siendo V3 la especie que reduce en mayor proporción la temperatura del cañón.

- Este-Oeste

V1(x1 Naranja) > 0,02°C > V2(X2 Naranjos) > 0,07°C > V3(x1 Jacaranda)

Existen saltos térmicos entre variables de hasta 0,09°C, siendo la jacaranda la que reduce en mayor proporción la temperatura del cañón.

6.1.1.2 Conclusiones análisis térmico de cañón 1

Según las comparaciones realizadas entre tipos de vegetación, se determina una relación entre la temperatura media y porte arbóreo, siendo V3 la especie que reduce en mayor proporción la temperatura del cañón con hasta 0,12°C de reducción respecto a V1. Tras el análisis de los resultados térmicos en ambas orientaciones, se comprueba que para los tres tipos de vegetación simulada, resulta menos favorable la orientación Norte-Sur, obteniendo una media de 0,12°C más cálida que en las mismas simulaciones para la orientación Norte-Sur.

Se puede determinar que la orientación y tipo de vegetación en el cañón 1 (C/García Vinuesa) son factores poco relevantes para la temperatura del mismo.

6.1.2 Comparativa análisis de confort térmico (UTCI) cañón 1

Cañón 1:

Calle seleccionada ----- Calle García Vinuesa
 AR ---- 13/8,2 = 1,58
 Orientación real ---- Este- Oeste

Medias térmicas UTCI:

NS		46,16 °C	45,05 °C	42,38 °C
EO	47,43°C	46,10 °C	44,43 °C	43,07 °C
	SIN VEGETACIÓN	V1(x1 NARANJO)	V2(x2 NARANJOS)	V3(x1 JACARANDA)

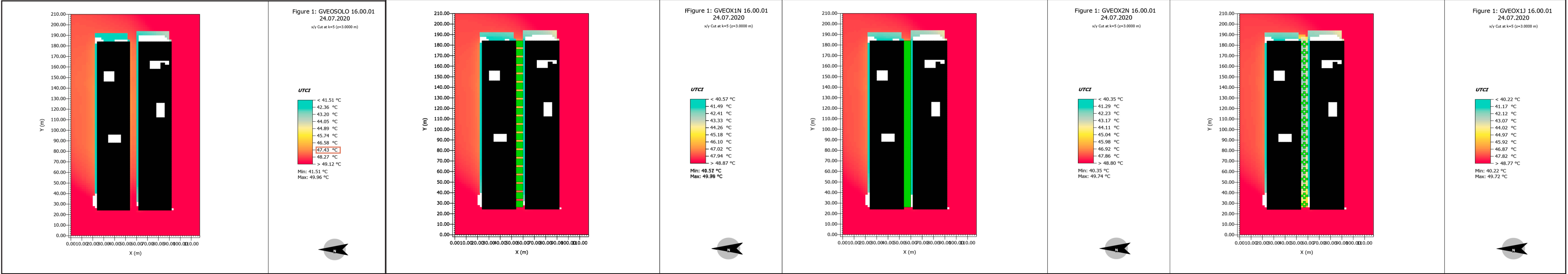


Fig. 23 . Imagenes de Resultados UTCI extraídos de Bio-met para C/ García Vinuesa. Extracción herramienta Leonardo.

Comparativa entre orientaciones

Además del cañón sin vegetación se compararán las especies con ambas orientaciones para determinar su influencia sobre la temperatura media.

-V1 (x1 Naranja)

Comprobamos que la diferencia térmica entre orientaciones para V1 es de 0,06 °C, siendo la orientación Norte-Sur la más desfavorable.

- V2 (x2 Naranja)

Comprobamos que la diferencia térmica entre orientaciones para V2 es de 0,62 °C, siendo la orientación Norte-Sur la más desfavorable.

- V3 (x1 Jacaranda)

Comprobamos que la diferencia térmica entre orientaciones para V3 es de 0,69 °C, siendo la orientación Este- Oeste la más desfavorable.

- Sin vegetación NS

Comprobamos que la diferencia térmica entre la simulación sin vegetación y V3(EO) es de 4,36 °C.

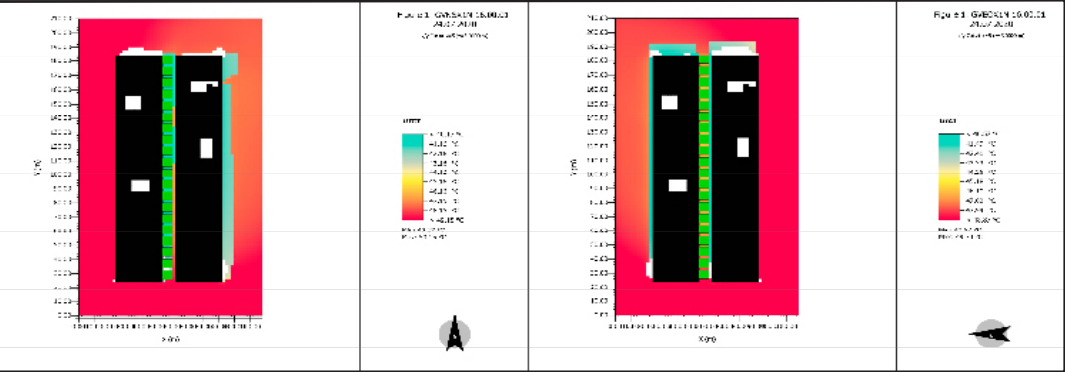


Fig. 24. Imágenes de Resultados UTM del aire con V1 en ambas orientaciones para C/ García Vinuesa. Extracción herramienta Leonardo.

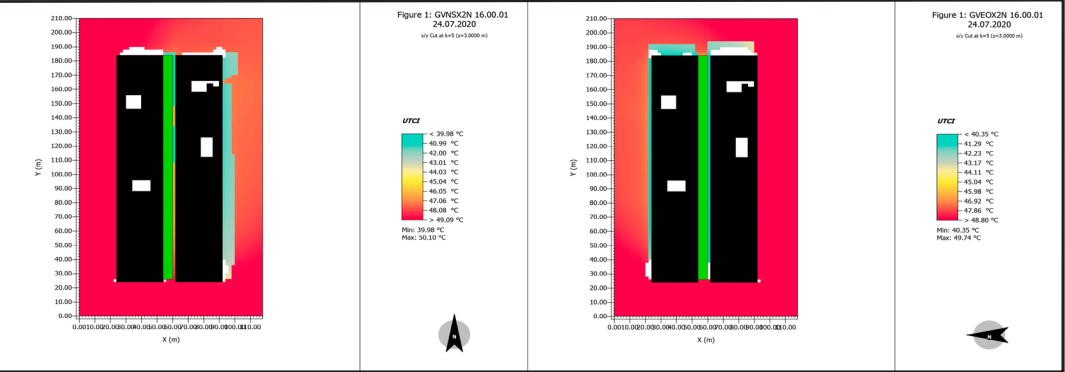


Fig. 25. Imágenes de Resultados UTM del aire con V2 en ambas orientaciones para C/ García Vinuesa. Extracción herramienta Leonardo.

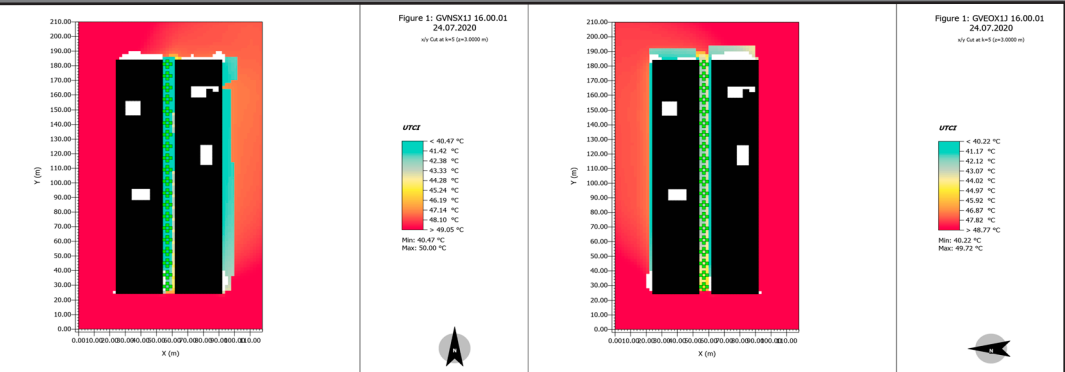


Fig. 26. Imágenes de Resultados UTM del aire con V3 en ambas orientaciones para C/ García Vinuesa. Extracción herramienta Leonardo.

Comparativa entre especies

Se compararán las diferentes especies con misma orientación para determinar su influencia sobre la temperatura media.

- Norte-Sur

V1(x1 Naranja) > 1,11°C > V2(X2 Naranjos) > 2,67°C > V3(x1 Jacaranda)

Existen saltos térmicos entre variables de hasta 3,78°C, siendo V3 la especie que reduce en mayor proporción la temperatura del cañón.

- Este-Oeste

V1(x1 Naranja) > 1,67°C> V2(X2 Naranjos) > 1,36°C > V3(x1 Jacaranda)

Existen saltos térmicos entre variables de hasta 3,03°C, siendo V3 la especie que reduce en mayor proporción la temperatura del cañón.

6.1.2.1 Conclusiones análisis de confort térmico (UTM) cañón 1

Según las comparaciones realizadas entre los tipos de vegetación, se determina una relación entre la temperatura y porte arbóreo, siendo V3 la especie que reduce en mayor proporción la temperatura del cañón. La diferencia de temperatura de confort térmico entre la existencia o no de vegetación es de 4,36°C. Tras el análisis de los resultados UTM en ambas orientaciones, se determina que para V1 y V2 resulta menos favorable la orientación Norte-Sur. En el caso de V3 resulta menos favorable la orientación Este-Oeste, llegando a reducir en 3,03°C de temperatura de confort respecto a V1 en la orientación Norte-Sur.

Se puede determinar que la existencia y tipo de vegetación en el cañón 1 (C/ García Vinuesa) son factores relevantes para confort térmico del mismo.

6.1.3 Comparativa de temperaturas medias del cañón 2

Cañón 2:

Calle seleccionada ----- Calle Recaredo
 AR ---- 13,5/25,4 = 0,53
 Orientación real ---- Norte- Sur

Medias térmicas:

NS	37,41 °C	37,37 °C	37,34 °C
EO	38,12 °C	37,75 °C	37,71 °C
	V1(x1 NARANJO)	V2(x2 NARANJOS)	V3(x1 JACARANDA)

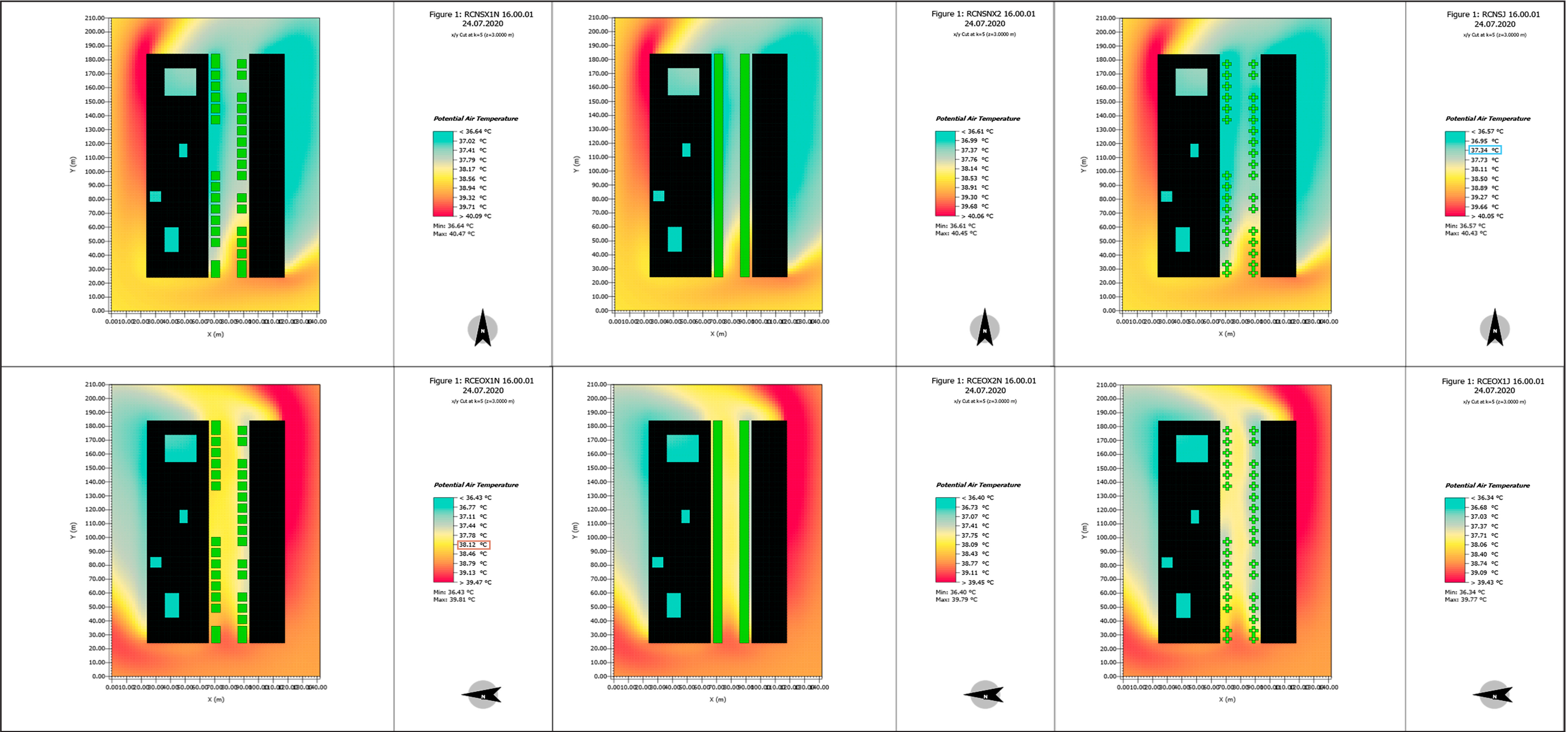


Fig. 27 .Imagenes de Resultados de Temperatura potencial del aire para C/ Recaredo. Extracción herramienta Leonardo.

Comparativa entre orientaciones

Se compararán las diferentes orientaciones para determinar su influencia sobre la temperatura media.

-V1 (x1 Naranjo)

Se observa que existen diferencias térmicas entre ambas orientaciones. Tras la extracción de temperaturas medias del cañón, comprobamos que la diferencia térmica entre orientaciones para V1 es de 0,71 °C, siendo la orientación Este- Oeste la más desfavorable.

- V2 (x2 Naranjo)

Existen leves diferencias térmicas entre ambas orientaciones. Tras la extracción de temperaturas medias del cañón, comprobamos que la diferencia térmica entre orientaciones para V2 es de 0,38 °C, siendo la orientación Este- Oeste la más desfavorable.

- V3 (x1 Jacaranda)

Existen leves diferencias térmicas entre ambas orientaciones. Tras la extracción de temperaturas medias del cañón, comprobamos que la diferencia térmica entre orientaciones para V3 es de 0,37 °C, siendo la orientación Este- Oeste la más desfavorable.

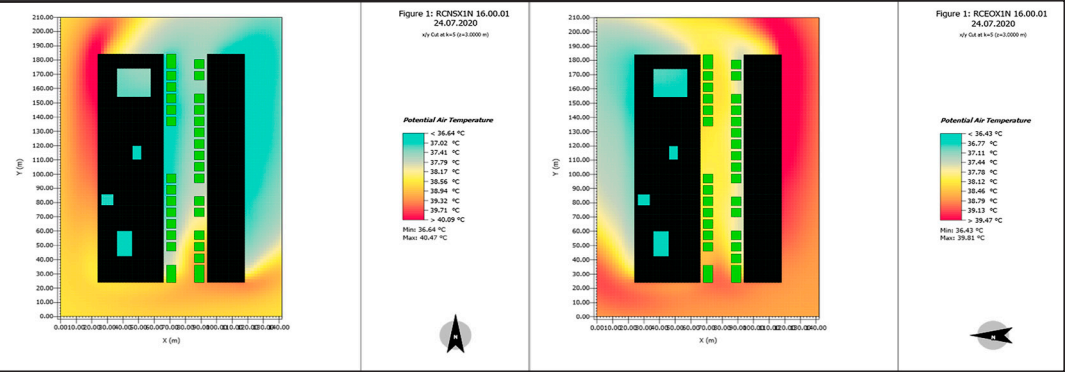


Fig. 28. Imagenes de Resultados de Temperatura potencial del aire con V1 en ambas orientaciones para C/ Recaredo. Extracción herramienta Leonardo.

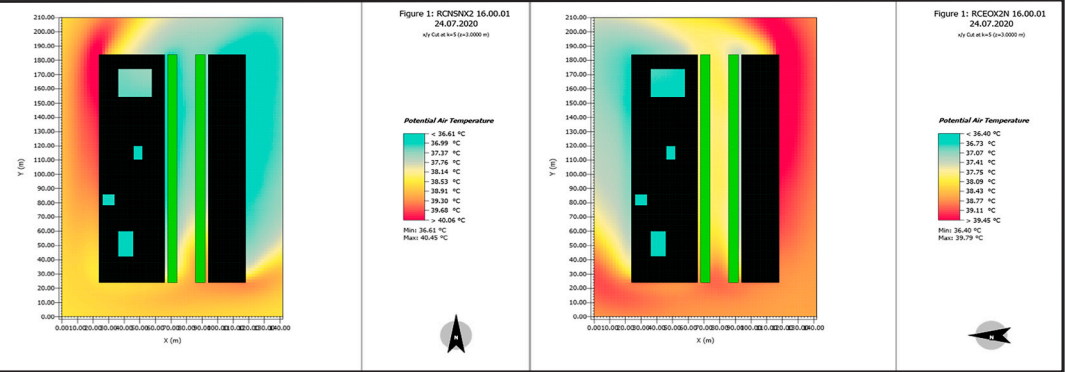


Fig. 29. Imagenes de Resultados de Temperatura potencial del aire con V2 en ambas orientaciones para C/ Recaredo. Extracción herramienta Leonardo.

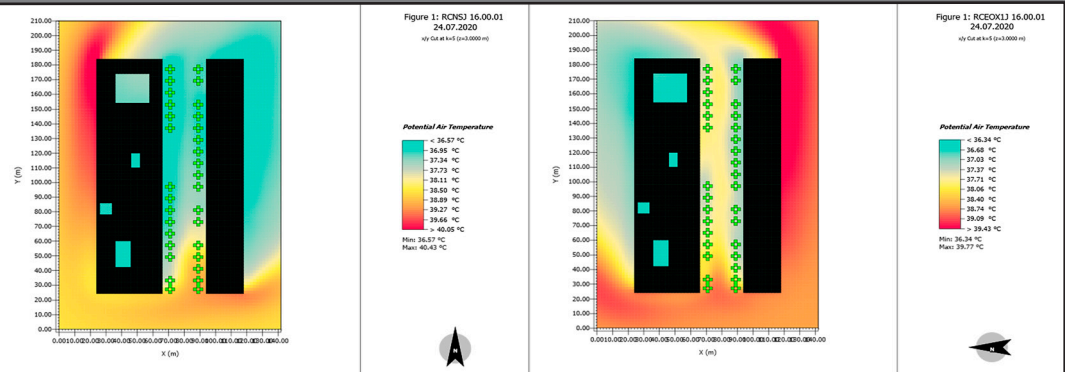


Fig. 30. Imagenes de Resultados de Temperatura potencial del aire con V3 en ambas orientaciones para C/ Recaredo. Extracción herramienta Leonardo.

Comparativa entre especies

Se compararán las diferentes especies con misma orientación para determinar su influencia sobre la temperatura media.

- Norte-Sur

V1(x1 Naranjo) > 0,04°C >V2(X2 Naranjos) > 0,03°C > V3(x1 Jacaranda)

Existen saltos térmicos entre variables de hasta 0,07°C, siendo V3 la especie que reduce en mayor proporción la temperatura del cañón.

- Este-Oeste

V1(x1 Naranjo) > 0,03°C > V2(X2 Naranjos) > 0,01°C > V3(x1 Jacaranda)

Existen saltos térmicos entre variables de hasta 0,04°C, siendo V3 la que reduce en mayor proporción la temperatura del cañón.

6.1.3.1 Conclusiones análisis térmico de cañón 2

Según las comparaciones realizadas entre tipos de vegetación, se determina una clara relación entre la temperatura media y porte arbóreo, siendo V3 la especie que reduce en mayor proporción la temperatura del cañón con hasta 0,07°C de reducción respecto a V1. Tras el análisis de los resultados térmicos en ambas orientaciones, se comprueba que para los tres tipos de vegetación simulada, resulta menos favorable la orientación Este-Oeste, obteniendo una media de 0,48°C más cálida que en las mismas simulaciones para la orientación Norte-Sur.

Se puede determinar que la orientación, tipo de vegetación en el cañón 2 (Calle Recaredo) son factores poco relevantes para la temperatura del mismo.

6.1.4 Comparativa análisis de confort térmico (UTCI) cañón 2

Cañón 2:

Calle seleccionada ----- Calle Recaredo
 AR ---- 13,5/25,4 = 0,53
 Orientación real ---- Norte- Sur

Medias térmicas UTCI:

NS	48,08 °C	47,11 °C	45,92 °C	43,17 °C
EO	-----	47,93 °C	46,88 °C	45,93 °C
	SIN VEGETACIÓN	V1(x1 NARANJO)	V2(x2 NARANJOS)	V3(x1 JACARANDA)

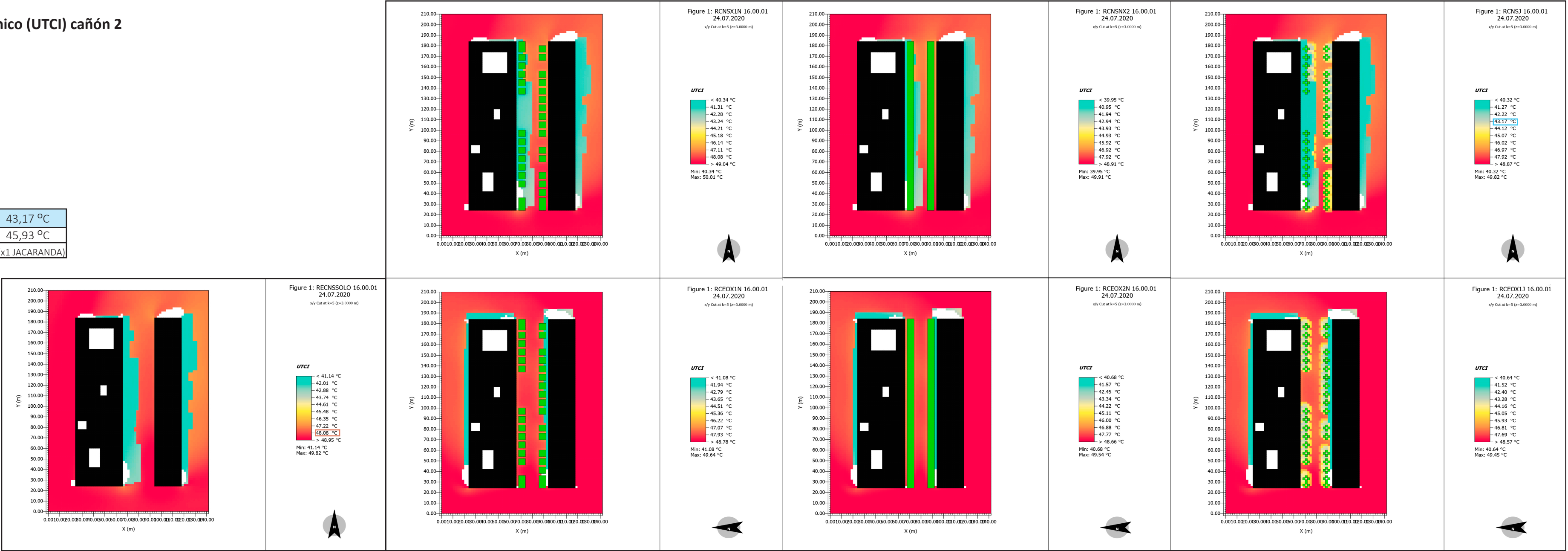


Fig. 31 . Imagenes de Resultados UTCI extraídos de Bio-met para C/ Recaredo. Extracción herramienta Leonardo.

Comparativa entre orientaciones

Además del cañón sin vegetación se compararán las especies con ambas orientaciones para determinar su influencia sobre la temperatura media.

-V1 (x1 Naranjo)

Comprobamos que la diferencia térmica entre orientaciones para V1 es de 0,82 °C, siendo la orientación Este- Oeste la más desfavorable.

- V2 (x2 Naranjo)

Comprobamos que la diferencia térmica entre orientaciones para V2 es de 0,96 °C, siendo la orientación Este- Oeste la más desfavorable.

- V3 (x1 Jacaranda)

Comprobamos que la diferencia térmica entre orientaciones para V3 es de 2,76 °C, siendo la orientación Este- Oeste la más desfavorable.

- Sin vegetación NS

Comprobamos que la diferencia térmica entre la simulación sin vegetación y V3(NS) es de 4,91 °C.

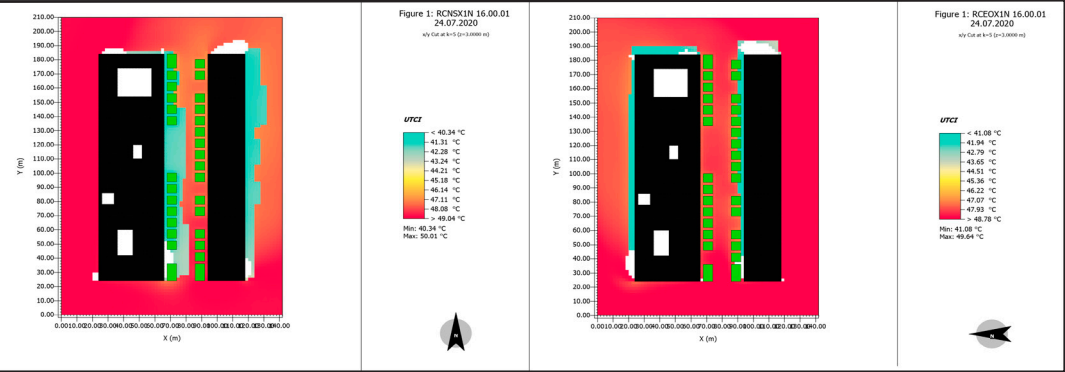


Fig. 32. Imagenes de Resultados UTCI del aire con V1 en ambas orientaciones para C/ Recaredo. Extracción herramienta Leonardo.

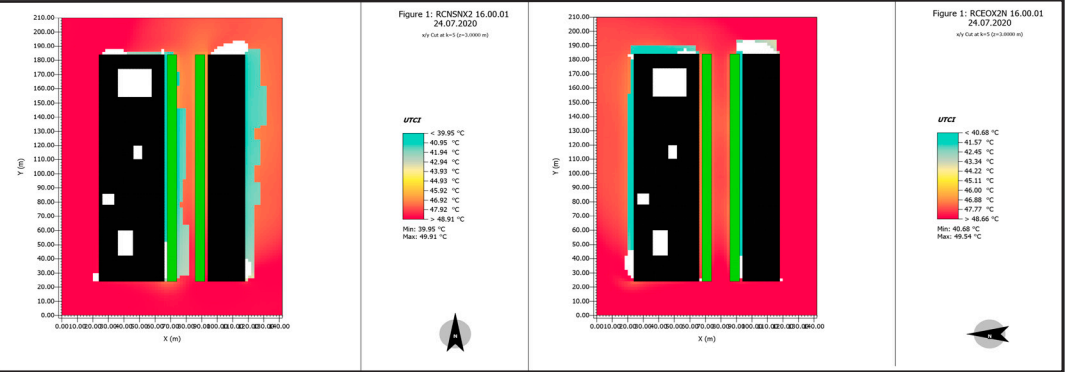


Fig. 33. Imagenes de Resultados UTCI del aire con V2 en ambas orientaciones para C/ Recaredo. Extracción herramienta Leonardo.

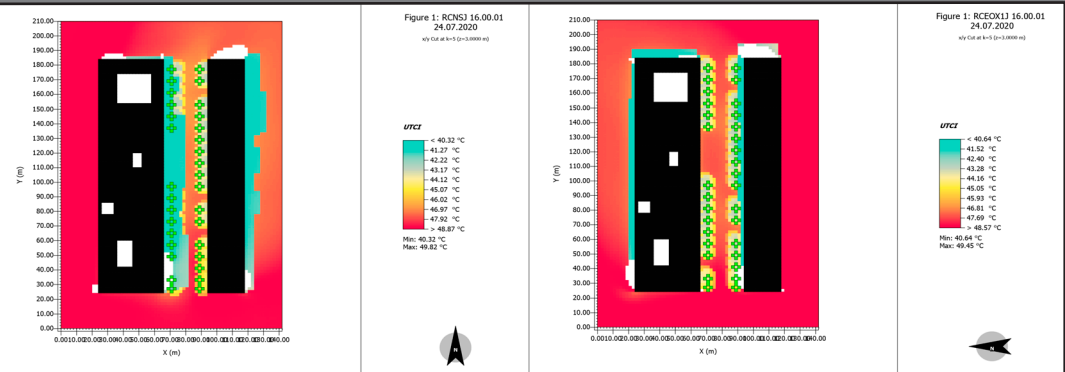


Fig. 34. Imagenes de Resultados UTCI del aire con V3 en ambas orientaciones para C/ Recaredo. Extracción herramienta Leonardo.

Comparativa entre especies

Se compararán las diferentes especies con misma orientación para determinar su influencia sobre la temperatura media.

- Norte-Sur

V1(x1 Naranjo) > 1,19°C > V2(X2 Naranjos) > 2,75°C > V3(x1 Jacaranda)

Existen saltos térmicos entre variables de hasta 3,94°C, siendo la jacaranda la que reduce en mayor proporción la temperatura del cañón.

- Este-Oeste

V1(x1 Naranjo) > 1,05°C> V2(X2 Naranjos) > 0,95°C > V3(x1 Jacaranda)

Existen saltos térmicos entre variables de hasta 2°C, siendo la jacaranda la que reduce en mayor proporción la temperatura del cañón.

6.1.4.1 Conclusiones análisis de confort térmico (UTCI) cañón 2

Según las comparaciones realizadas entre los tipos de vegetación, se determina una clara relación entre la temperatura y porte arbóreo, siendo V3 la especie que reduce en mayor proporción la temperatura del cañón. La diferencia de temperatura entre la existencia o no de vegetación es de 4,91°C. Tras el análisis de los resultados UTCI en ambas orientaciones, se determina que para los tres tipos de vegetación simulada, resulta menos favorable la orientación Este-Oeste, debido a la diferencia entre temperaturas para distintas orientaciones llega a ser de 2,76°C.

Se puede determinar que la orientación, la existencia y el tipo de vegetación en el cañón 2(C/ Recaredo) son factores relevantes para confort térmico del mismo.

6.1.5 Comparativa de temperaturas medias del cañón 3

Cañón 3:

Calle seleccionada ----- Av. Juan Antonio Cavestany
AR ---- 18,5/32 = 0,58
Orientación real ---- Norte- Sur

Medias térmicas:

NS	37,78 °C	37,75 °C	37,27 °C
EO	37,78 °C	37,76 °C	36,86 °C
	V1(x1 NARANJO)	V2(x2 NARANJOS)	V3(x1 JACARANDA)

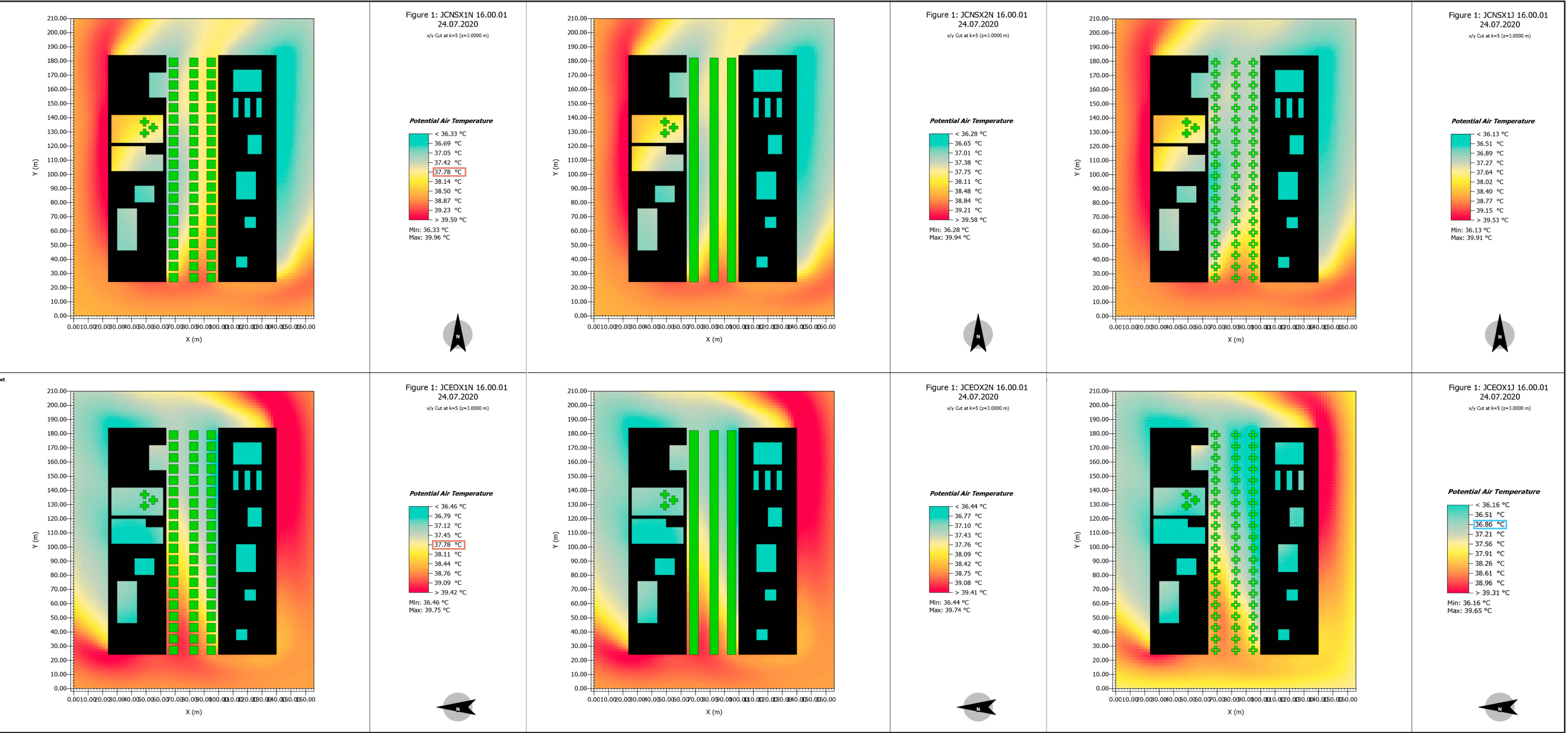


Fig. 35 .Imágenes de Resultados de Temperatura potencial del aire para Av. Juan Antonio Cavestany. Extracción herramienta Leonardo.

Comparativa entre orientaciones

Se compararán las diferentes orientaciones para determinar su influencia sobre la temperatura media.

-V1 (x1 Naranja)

Se observa que no existen diferencias térmicas entre ambas orientaciones. La diferencia de temperaturas medias del cañón entre orientaciones es de 0,00°C para V1.

- V2 (x2 Naranja)

Existen diferencias térmicas imperceptibles entre ambas orientaciones. Tras la extracción de temperaturas medias del cañón, comprobamos que la diferencia térmica entre orientaciones para V2 es de 0,01 °C.

- V3 (x1 Jacaranda)

Existen leves diferencias térmicas entre ambas orientaciones. Tras la extracción de temperaturas medias del cañón, comprobamos que la diferencia térmica entre orientaciones para V3 es de 0,41 °C.

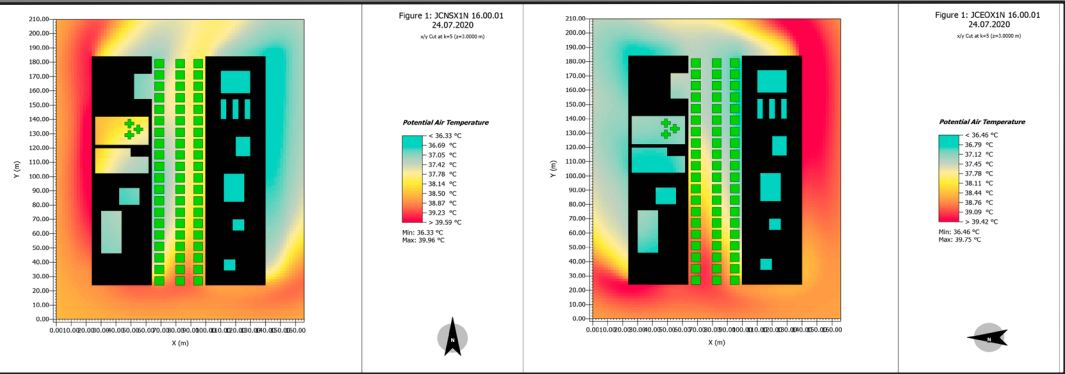


Fig. 36. Imágenes de Resultados de Temperatura potencial del aire con V1 en ambas orientaciones para Av. Juan Antonio Cavestany. Extracción herramienta Leonardo.

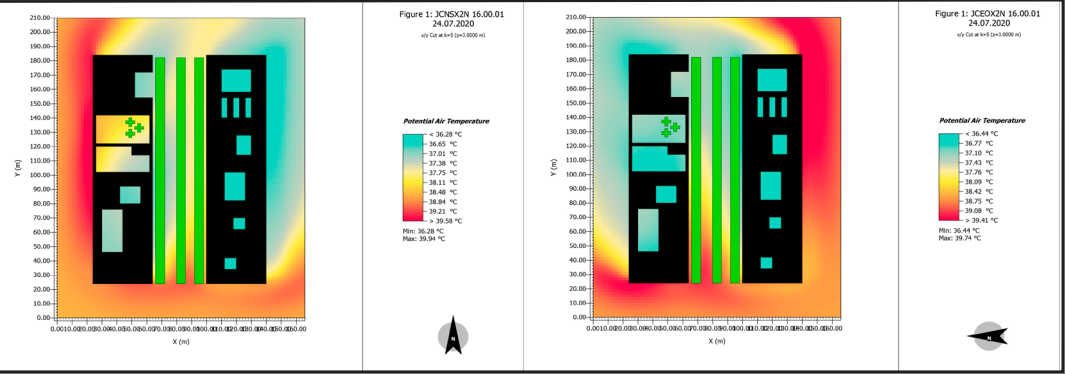


Fig. 37. Imágenes de Resultados de Temperatura potencial del aire con V2 en ambas orientaciones para Av. Juan Antonio Cavestany. Extracción herramienta Leonardo.

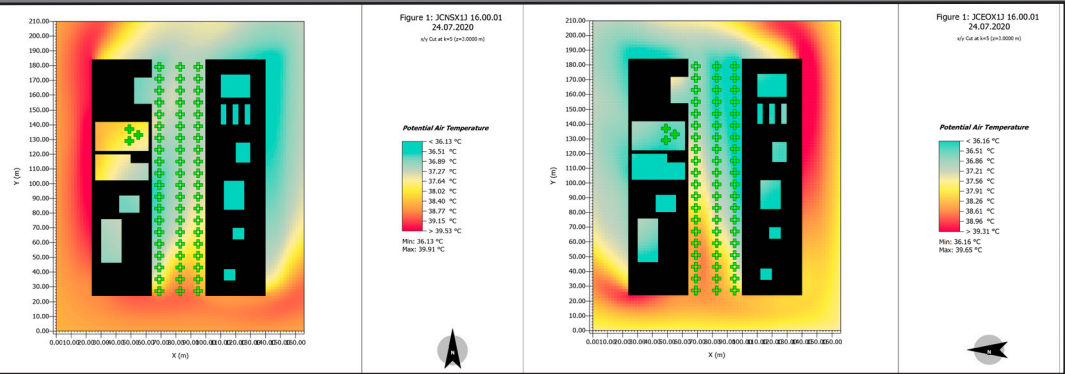


Fig. 38. Imágenes de Resultados de Temperatura potencial del aire con V3 en ambas orientaciones para Av. Juan Antonio Cavestany. Extracción herramienta Leonardo.

Comparativa entre especies

Se compararán las diferentes especies con misma orientación para determinar su influencia sobre la temperatura media.

- Norte-Sur

V1(x1 Naranja) > 0,03°C > V2(X2 Naranjos) > 0,48°C > V3(x1 Jacaranda)

Existen saltos térmicos entre variables de hasta 0,51°C, siendo V3 la especie que reduce en mayor proporción la temperatura del cañón.

- Este-Oeste

V1(x1 Naranja) > 0,02°C > V2(X2 Naranjos) > 0,90°C > V3(x1 Jacaranda)

Existen saltos térmicos entre variables de hasta 0,92°C, siendo V3 la que reduce en mayor proporción la temperatura del cañón.

6.1.5.1Conclusiones análisis térmico de cañón 3

Tras el análisis de los resultados térmicos en ambas orientaciones, se comprueba que para V1 y V2, resulta imperceptible el cambio de orientación ya que la diferencia térmica es de 0,01°C más cálida que en las mismas simulaciones para la orientación Norte-Sur. En el caso de V3 resulta menos favorable la orientación Norte-Sur, llegando a reducir en 0,41°C.

Se puede determinar que tanto la orientación como la especie en el cañón 3 (Av. Juan Antonio Cavestany) factores relevantes para la temperatura del mismo.

6.1.6 Comparativa análisis de confort térmico (UTCI) cañón 3

Cañón 3:

Calle seleccionada ----- Av. Juan Antonio Cavestany
 AR ---- 18,5/32 = 0,58
 Orientación real ---- Norte- Sur

Medias térmicas UTCI:

NS	47,17 °C	45,87 °C	44,78 °C	42,92 °C
EO	-----	45,71 °C	44,63 °C	42,65 °C
	SIN VEGETACIÓN	V1(x1 NARANJO)	V2(x2 NARANJOS)	V3(x1 JACARANDA)

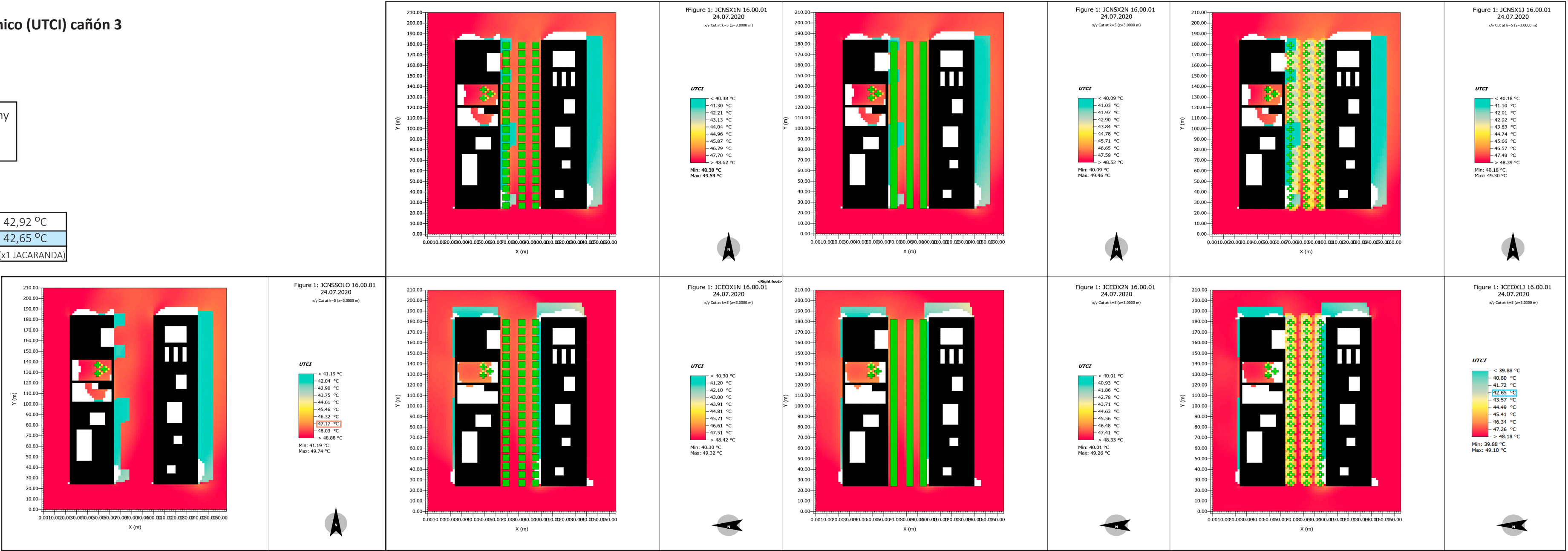


Fig. 39. Imagenes de Resultados UTCI extraídos de Bio-met para Av. Juan Antonio Cavestany. Extracción herramienta Leonardo.

Comparativa entre orientaciones

Además del cañón sin vegetación se compararán las especies con ambas orientaciones para determinar su influencia sobre la temperatura media.

-V1 (x1 Naranjo)

Comprobamos que la diferencia térmica entre orientaciones para V1 es de 0,04 °C, siendo la orientación Norte-Sur la más desfavorable.

- V2 (x2 Naranjo)

Comprobamos que la diferencia térmica entre orientaciones para V2 es de 0,15 °C, siendo la orientación Norte-Sur la más desfavorable.

- V3 (x1 Jacaranda)

Comprobamos que la diferencia térmica entre orientaciones para V3 es de 0,27 °C, siendo la orientación Norte-Sur la más desfavorable.

- Sin vegetación NS

Comprobamos que la diferencia térmica entre la simulación sin vegetación y V3(NS) es de 4,25 °C.

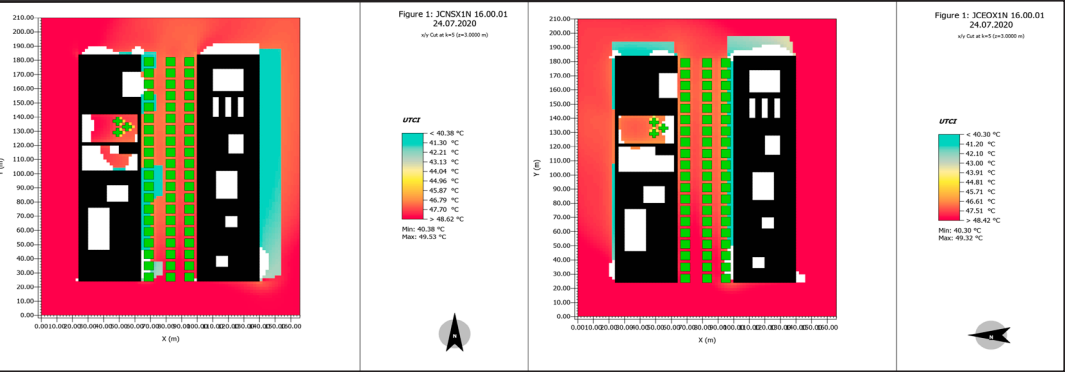


Fig. 40. Imagenes de Resultados UTCT del aire con V1 en ambas orientaciones para Av. Juan Antonio Cavestany. Extracción herramienta Leonardo.

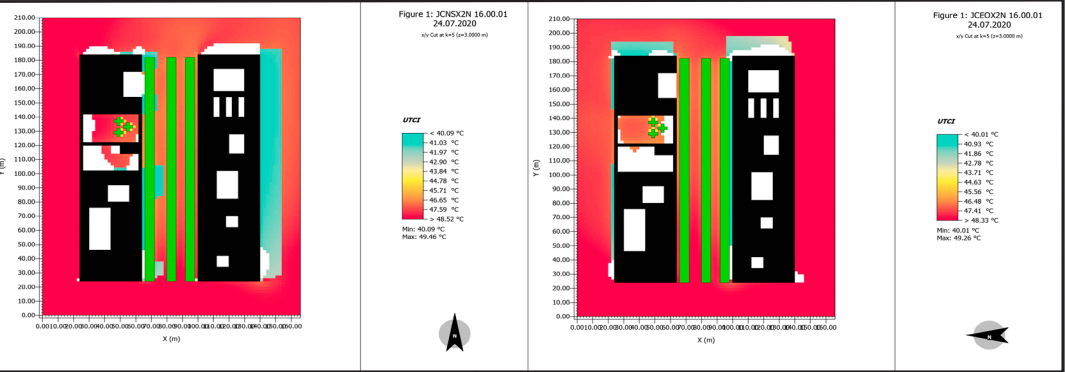


Fig. 41. Imagenes de Resultados UTCT del aire con V2 en ambas orientaciones para Av. Juan Antonio Cavestany. Extracción herramienta Leonardo.

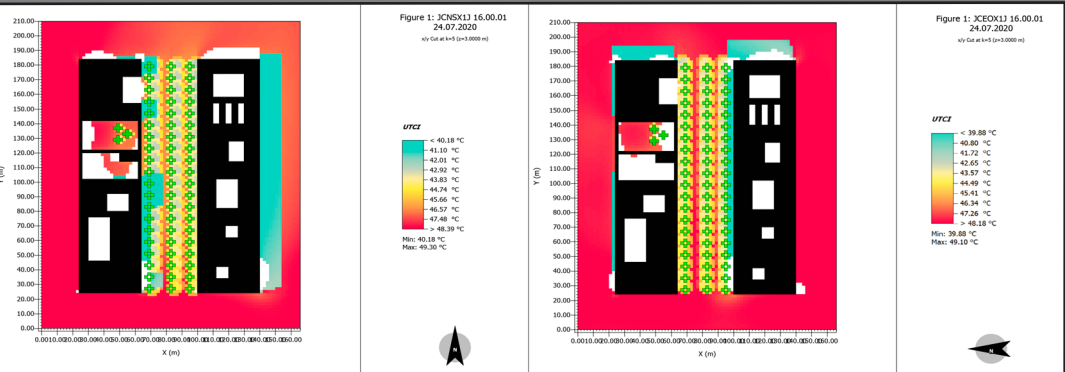


Fig. 42. Imagenes de Resultados UTCT del aire con V3 en ambas orientaciones para Av. Juan Antonio Cavestany. Extracción herramienta Leonardo.

Comparativa entre especies

Se compararán las diferentes especies con misma orientación para determinar su influencia sobre la temperatura media.

- Norte-Sur

Existen saltos térmicos entre variables de hasta 2,95°C, siendo la jacaranda la que reduce en mayor proporción la temperatura del cañón.

V1(x1 Naranjo) > 1,09°C > V2(X2 Naranjos) > 1,86°C > V3(x1 Jacaranda)

- Este-Oeste

Existen saltos térmicos entre variables de hasta 3,06°C, siendo la jacaranda la que reduce en mayor proporción la temperatura del cañón.

V1(x1 Naranjo) > 1,08°C > V2(X2 Naranjos) > 1,98°C > V3(x1 Jacaranda)

6.1.6.1 Conclusiones análisis de confort térmico (UTCI) cañón 3

Según las comparaciones realizadas entre los tipos de vegetación, se determina una clara relación entre la temperatura y porte arbóreo, siendo V3 la especie que reduce en mayor proporción la temperatura del cañón. La diferencia de temperatura entre la existencia o no de vegetación es de 4,25°C. Tras el análisis de los resultados UTCT en ambas orientaciones, se determina que V1, V2 resulta menos favorable la orientación Norte-Sur aunque con pocas diferencias térmicas. Para V3 se aprecian mayores diferencias térmicas de hasta 1,98°C, siendo la orientación Norte-Sur la mas desfavorable.

Se puede determinar que la orientación, la existencia y el tipo de vegetación en el cañón 3 (Av Juan Antonio Cavestany) son factores relevantes para confort térmico del mismo.



7. Conclusiones

7. Conclusiones

7.1 Conclusiones generales

El presente estudio se planteó con la intención de investigar en la posibilidad de reducir el impacto del cambio climático mediante el análisis de la influencia del arbolado público sobre los patrones de confort térmico en zonas urbanas de la ciudad de Sevilla.

Los resultados obtenidos en los diferentes cálculos realizados con ENVI-met para los cañones arquetípicos seleccionados, pone de manifiesto la clara relación entre arbolado y temperatura de confort.

En la mayoría de los casos presentaron mejoras térmicas los cañones en los que aumentaba el número de especies y en todos los casos presentaron mejoras notables con el aumento de porte arbóreo de la especie introducida en el cálculo.

En las calles que carecen de arbolado público, se ha obtenido un incremento medio de 4,50°C de temperatura de confort respecto a las simuladas con arboles de porte medio. Media que coincide prácticamente con el incremento por UHI en el centro de Sevilla respecto al aeropuerto (AEMET) que suele estar entre 4-5°C en las horas más calurosas del día. Llega a reducir en 4,91°C la temperatura de confort con la colocación de arbolado público de porte medio como es el caso de la jacaranda, la cual no supone un problema para épocas frías ya que al ser una especie de hoja caduca, deja el paso de radiación solar directa.

En conclusión, podemos decir que mediante el aumento de la masa arbórea de especies concretas para conseguir un mayor sombreado natural, es posible reducir de forma natural y sostenible, la temperatura de confort térmico de las ciudades y así mitigar las UHI y el cambio climático.

7.2 Futuras líneas de investigación

Para concluir, se pueden establecer una serie de futuras líneas de investigación para dar continuidad al presente estudio:

Con objeto de tener un modelo de cálculo más completo de los cañones urbanos, habría que ampliar la matriz de cálculo e introducir mayor variedad de arbolado.

Por otra parte, cabe la posibilidad de introducir la variable de tipos de albedo para mejorar térmicamente en ambos sentidos y bajar la temperatura de confort lo máximo posible en cada cañón.

1.AEMET: Agencia Estatal de Meteorología

8. Bibliografía

8.1 Referencias bibliográficas

[1] K. Brysse, N. Oreskes, J. O’Reilly, M. Oppenheimer, Predicción del cambio climático: errando del lado del menor drama? Glob. Reinar. Chang. 23 (2013) 327 mi 337, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.10.008>

[2] Informe IPCC 2018 https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_spanish.pdf

[3].PAACC. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temas_ambientales/clima/actuaciones_cambio_climatico/adaptacion/programa_adaptacion/programa_adaptacion.pdf

[4]. A. A fl aki, M. Mirnezhad, A. Ghaffarianhoseini, et al., Mitigación de isla de calor urbano estrategias de gation: una revisión del estado de la técnica sobre kuala lumpur, Singapur y Hong Kong, Ciudades 62 (2017) 131 mi 145.

[5]. Amir Ahmed AbdElfattah AboElata. Study the vegetation as urban strategy to mitigate urban heat island in mega city Cairo. Ref.([sciencedirect.com/science/article/pii/S187802961730004X](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187802961730004X))

[6]. ONU_key_messages_summary_spanish.pdf <https://unhabitat.org/World%20Cities%20Report%202020>

[7]. Venter, Z.S.; Krog, N.H.; Barton, D.N. Linking green infrastructure to urban heat and human health risk mitigation in Oslo,Norway. Sci. Total. Environ. 2020, 709, 136193. Ref.([sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719361893](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719361893))

[8]. Ecological Engineering. A study of tree crown characteristics and their cooling effects in a subtropical city of Australia. Jian Zhang, Zhonghua Gou, Fan Zhang, Leigh Shutter. Ref. ([sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857420303153](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857420303153)).

[9]. Rahman, M.A., Stratopoulos, L.M.F., Moser-Reischl, A., Zolch, T., Haberle, K.-H., Rotzer, T., Pretzsch, H., Pauleit, S., 2020b. Traits of trees for cooling urban heat islands: a meta-analysis. Build. Environ. 170, 106606. Ref. ([sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132319308182](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132319308182))

[10]. Rahman, M.A., Stratopoulos, L.M.F., Moser-Reischl, A., Zolch, T., Haberle, K.-H., Rotzer, T., Pretzsch, H., Pauleit, S., 2020b. Traits of trees for cooling urban heat islands: a meta-analysis. Build. Environ. 170, 106606. Ref. ([sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204619309338](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204619309338))

[11]. Beck, H., Zimmermann, N., McVicar, T. et al. Mapas de clasificación climática de Köppen-Geiger presentes y futuros con una resolución de 1 km. Datos de ciencia 5, 180214 (2018). <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>

[12]. Web climate-data.org. (<https://es.climate-data.org/europe/espana/andalucia/sevilla-2933/>)

[13]. Resumen ejecutivo del Plan Director del Arbolado Urbano de Sevilla 2019-2039

[14]. <http://www.arbomap.com>

[15]. <https://wikitreesevilla.wordpress.com>

[16]. <https://www.arbolapp.es/especies/ficha/sophora-japonica/>

[17]. Catálogo de árboles y arbustos recomendables para las diferentes zonas climáticas de Andalucía, aplicable al medio urbano. (PDF). Web: Catálogo de Árboles y Arbustos- Junta de Andalucía.

[18]. J. Konarska , F. Lindberg , A. Larsson , S. Thorsson , B. Holmer. Transmisividad de la radiación solar a través de las copas de árboles urbanos individuales: aplicación para el modelado de confort térmico al aire libre. Web: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-013-1000-3>.

[19]. López Lloret, J. (2003): La ciudad construida. Historia, Estructura y Percepción en el Conjunto Histórico de Sevilla. Sevilla, Diputación Provincial.

[20]. Barrionuevo, A. (2003): Sevilla: Formas de crecimiento y construcción de la ciudad, Sevilla, Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.

[21]. VP López-Cabeza, C. Galán-Marín, C. Rivera-Gómez, J. Roa-Fernández. Courtyard microclimate ENVI-met outputs deviation from the experimental data. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.08.013>

[22]. Juan Rojas-Fernández, Carmen Galán-Marín, Carlos Rivera-Gómez y Enrique D. Fernández-Nieto, Explorando la interacción entre CAD y FreeFem ++ como herramienta de toma de decisiones energéticas para Diseño arquitectónico. <https://doi.org/10.3390/en1102665>

8.2 Figuras

Fig. 1. Imagen de portada principal. Elaboración propia a partir de imagen extraída de <https://istockphoto.7eer.net/c/1328319/258824/4205?u=https://www.istockphoto.com/photo/tree-branch-and-leaf-with-shadow-on-a-white-concrete-wall-gm1087288488-291711352>

Fig. 2. Imagen portada Introducción. Elaboración propia a partir de imagen extraída de https://viajes.nationalgeographic.com.es/medio/2017/05/05/la-giralda_9144a6c3.jpg

Fig. 3. Imagen portada Objetivos. Elaboración propia a partir de imagen extraída de <httpsmedia.gettyimages.comphotosbarrio-santa-cruz-siviglia-picture-id644607278k=6&m=644607278&s=612x612&w=0&h=PG3lk1EkLdeKwA381HKIT8LsvRanWI2Fz2fGblQdHds=>

Fig. 4. Imagen portada Estado de la cuestión. Elaboración propia a partir de imagen extraída de <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fnotjustatourist.com%2Ftop-ten-viewpoints-seville%2Fmuseo-pintor-amalio%2F&psig=AOvVaw3pUgrrNlfcM-45JCieKLW-V&ust=1624549591337000&source=images&cd=vfe&ved=0CAoQjRxqFwoTCJCOWYCNrvECFQAAAAAdAAAAABAD>

Fig. 5. Imagen portada Caso de estudio. Elaboración propia a partir de imagen extraída de <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.visitarsevilla.info%2Fblog%2F2016%2F04%2F01%2Ftorre-del-oro-monumentos-de-sevilla%2F&psig=AOvVaw3p-6N0zmfFADPpuqdT8IDJm&ust=1624387597603000&source=images&cd=vfe&ved=0CAoQjRxqFwoTCLjx57O0qfECFQAAAAAdAAAAABAD>

Fig. 6. Imagen clasificación Köppen. Elaboración propia a partir de imagen extraída de fuente bibliográfica [12]. Web climate-data.org

Fig. 7. Gráfico climático. Elaboración propia a partir de imagen extraída de fuente bibliográfica [12]. Web climate-data.org

Fig. 8. Tabla de especies representativas. Elaboración propia a partir de imagen extraída de fuente bibliográfica [13]. Resumen ejecutivo del Plan Director del Arbolado Urbano de Sevilla 2019-2039

Fig. 9. Gráfico de especies por distrito. Elaboración propia a partir de gráfico extraído de fuente bibliográfica [13]. Resumen ejecutivo del Plan Director del Arbolado Urbano de Sevilla 2019-2039

Fig. 10. Imagen y características de especies seleccionadas. Elaboración propia.

Fig. 11. Plano de Sevilla color. Imagen extraída de <https://t.co/mZ8SofOIRt?amp=1>

Fig. 12. Sección cañones urbanos y ubicación. Elaboración propia a partir de imagen extraida de Google Earth.

Fig. 13. Imagen portada modelizaciones microclimáticas. Elaboración propia a partir de imagen extraída de [1httpswww.envi-met.comwp-contentuploads201906ENVI-met-features-treepass-1.jpg](httpswww.envi-met.comwp-contentuploads201906ENVI-met-features-treepass-1.jpg)

Fig. 14. Tabla matriz de cálculo. Elaboración propia.

Fig. 15. Imagen del proceso de modelado. Extracción herramienta Spaces.

Fig. 16 Imagenes de introducción de datos climatológicos. Extracción herramienta ENVI-guide.

Fig. 17 Diagrama de metodología de simulaciones. Elaboración propia a partir de imagen extraída de google earth y <https://www.flaticon.es>

Fig. 18 Imagen Resultados y discusión. Elaboración propia a partir de imagen extraída de [1httpswww.envi-met.comwp-contentuploads-201906ENVI-met-features-treepass-1.jpg](httpswww.envi-met.comwp-contentuploads-201906ENVI-met-features-treepass-1.jpg)

Fig. 19 Imagenes de Resultados de Temperatura potencial del aire para C/ García Vinuesa. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 20 Imagenes de Resultados de Temperatura potencial del aire con V1 en ambas orientaciones para C/ García Vinuesa. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 21 Imagenes de Resultados de Temperatura potencial del aire con V2 en ambas orientaciones para C/ García Vinuesa. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 22 Imagenes de Resultados de Temperatura potencial del aire con V3 en ambas orientaciones para C/ García Vinuesa. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 23 Imagenes de Resultados UTCI extraídos de Bio-met para C/ García Vinuesa. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 24 Imagenes de Resultados UTCI del aire con V1 en ambas orientaciones para C/ García Vinuesa. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 25 Imagenes de Resultados UTCI del aire con V2 en ambas orientaciones para C/ García Vinuesa. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 26 Imagenes de Resultados UTCI del aire con V3 en ambas orientaciones para C/ García Vinuesa. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 27 Imagenes de Resultados de Temperatura potencial del aire para C/ Recaredo. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 28 Imagenes de Resultados de Temperatura potencial del aire con V1 en ambas orientaciones para C/ Recaredo. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 29 Imagenes de Resultados de Temperatura potencial del aire con V2 en ambas orientaciones para C/ Recaredo. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 30 Imagenes de Resultados de Temperatura potencial del aire con V3 en ambas orientaciones para C/ Recaredo. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 31 Imagenes de Resultados UTCI extraídos de Bio-met para C/ Recaredo. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 32 Imagenes de Resultados UTCI del aire con V1 en ambas orientaciones para C/ Recaredo. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 33 Imagenes de Resultados UTCI del aire con V2 en ambas orientaciones para C/ Recaredo. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 34 Imagenes de Resultados UTCI del aire con V3 en ambas orientaciones para C/ Recaredo. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 35 Imagenes de Resultados de Temperatura potencial del aire para Av. Juan Antonio Cavestany. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 36 Imagenes de Resultados de Temperatura potencial del aire con V1 en ambas orientaciones para Av. Juan Antonio Cavestany. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 37 Imagenes de Resultados de Temperatura potencial del aire con V2 en ambas orientaciones para Av. Juan Antonio Cavestany. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 38 Imagenes de Resultados de Temperatura potencial del aire con V3 en ambas orientaciones para Av. Juan Antonio Cavestany. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 39 Imagenes de Resultados UTCI extraídos de Bio-met para Av. Juan Antonio Cavestany. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 40 Imagenes de Resultados UTCI del aire con V1 en ambas orientaciones para Av. Juan Antonio Cavestany. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 41 Imagenes de Resultados UTCI del aire con V2 en ambas orientaciones para Av. Juan Antonio Cavestany. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 42 Imagenes de Resultados UTCI del aire con V3 en ambas orientaciones para Av. Juan Antonio Cavestany. Extracción herramienta Leonardo.

Fig. 43 Imagen Conclusiones. Elaboración propia a partir de imagen extraída de <https://www.alamy.de/allee-der-baume-in-sevilla-maria-luisa-park-sevilla-spanien-eu-europa-image331845827.html>



ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL ARBOLADO PÚBLICO
SOBRE PATRONES DE CONFORT TÉRMICO
EN ZONAS URBANAS DE LA CIUDAD DE SEVILLA